



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH
DOMESTIK KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN
KEDUNGBARUK KECAMATAN RUNGKUT KOTA
SURABAYA**

FADEL MUHAMMAD
03211440000108

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH
DOMESTIK KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN
KEDUNGBARUK KECAMATAN RUNGKUT KOTA
SURABAYA**

FADEL MUHAMMAD
03211440000108

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



TUGAS AKHIR - RE 141581

**MUNICIPAL WASTEWATER MANAGEMENT
PLANNING ON KELURAHAN KALI RUNGKUT
AND KEDUNGBARUK, RUNGKUT DISTRICT,
SURABAYA**

FADEL MUHAMMAD
03211440000108

Supervisor
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Earth Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FADEL MUHAMMAD

NRP 03211440000108

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

NIP 195908111987011001



Perencanaan Pengelolaan Air Limbah Domestik Kelurahan Kali Rungkut Dan Kedungbaruk Kecamatan Rungkut Kota Surabaya

Nama Mahasiswa : Fadel Muhammad
NRP : 03211440000108
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

ABSTRAK

Pemerintah Indonesia melalui program Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2015 - 2019 mencanangkan 100 : 0 : 100, dimana 100% akses air minum aman, 0% kawasan kumuh perkotaan, dan 100% akses sanitasi layak. Salah satu langkah yang diharuskan untuk konservasi sumber daya air yaitu mitigasi pencemaran sungai dengan pengelolaan air limbah domestik.

Kadar maksimum kualitas air limbah yang digunakan disesuaikan dengan Permen LH No. 68 Tahun 2016 dengan parameter yang diperhatikan yaitu pH, BOD, COD, TSS, Minyak & Lemak, Amoniak, serta total Coliform. Kandungan pencemar yaitu TSS 146 mg/L; COD 356 mg/L; BOD 210 mg/L; NH₃ 193,61 mg/L; dan TC $9,3 \times 10^6$ per 100mL.

Untuk air limbah yang dilayani yaitu *greywater* dan *blackwater* bebas padatan, sehingga sistem penyaluran yang dipilih yaitu sistem riol kecil atau *Small bore sewer*. Sistem pengolahan sekunder yang digunakan ialah MBBR dua tahap yaitu BOD removal dan nitrifikasi. Untuk air effluent dapat langsung dialirkan ke badan air terdekat, sedangkan lumpur produksi akan diolah di IPLT.

Anggaran biaya yang dibutuhkan untuk investasi awal yaitu Rp. 33.441.000.000. Biaya perawatan dan operasional yaitu Rp. 576.700.000 dengan pembebanan retribusi per rumah yaitu Rp. 13.000 per bulan tanpa penggolongan konsumen.

Kata Kunci : Greywater, Small bore sewer, IPAL, MBBR, Investasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Municipal Wastewater Management Planning on Kelurahan Kali Rungkut and Kedungbaruk, Rungkut District, Surabaya

Name : Fadel Muhammad
NRP : 03211440000108
Department : Teknik Lingkungan
Supervisor : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

ABSTRACT

The Government of Indonesia through the program of the National Medium Term Development Plan (RPJMN) 2015 - 2019 proclaims 100: 0: 100, of which 100% access to safe drinking water, 0% urban slum areas, and 100% access to proper sanitation. One of the steps required to conserve water resources is the mitigation of river pollution with domestic waste water management.

The maximum level of quality of wastewater discharged is adjusted based on the Permen LH Regulation no. 68 of 2016 with parameters that are considered pH, BOD, COD, TSS, Oil & Fat, Ammonia, and total Coliform. The pollutants concentration are as follows :TSS 146 mg / L; COD 356 mg / L; BOD 210 mg / L; NH₃ 193,61 mg / L; and TC 9.3 x 10⁶ per 100mL.

For wastewater served is greywater and solid-free blackwater, so the selected channeling system is a small bore sewer system. Secondary processing system used is two-stage MBBR namely BOD removal and nitrification. For effluent water can be directly channeled to the nearest water bodies, while the mud production will be processed on sewage sludge treatment plant.

The budget required for initial cost is Rp. 33.441.000.000. Estimated annual cost is Rp. 576.700.000 with the levy of retribution per house is Rp. 13.000 per month without consument classification.

Keyword : Greywater, Small bore sewer, WWTP, MBBR, Investation

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan, kesempatan, beserta ilmu sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak pihak yang secara langsung dan tidak langsung membantu pengerjaan, yaitu:

1. Papa, mama, dan adik yang senantiasa mendukung dan menjadi motivasi terbesar dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc selaku dosen pembimbing yang senantiasa tulus dan ikhlas mengarahkan pengerjaan tugas akhir ini menjadi lebih baik.
3. Alfian Purnomo, ST. MT., Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil, PhD, Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei ST., MEPM, dan Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso MT. selaku dosen penguji yang telah membantu memberikan masukan dan saran sehingga tugas ini menjadi lebih baik.
4. Teman teman angkatan 2014, HMTL, beserta semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu per satu

Pada penulisan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal dan sebaik mungkin, dan penulis berharap tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi untuk perencanaan yang sejenis, sehingga dapat memberikan kebermanfaatan baik bagi kalangan akademisi hingga masyarakat. Tentunya ada kemungkinan terdapat kesalahan dalam pengerjaan, untuk itu kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 8 Juni 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Air Limbah Domestik	5
2.2.1 Kualitas dan Kuantitas Air Limbah	5
2.2.2 Karakteristik dan Baku Mutu Air Limbah	6
2.2.3 Debit Air Limbah	9
2.2 Sistem Penyaluran Air Limbah	11
2.3.1 Perpipaan Air Limbah <i>Small Bore Sewer</i>	12
2.3.2 Penempatan dan Pemasangan Saluran	13
2.3.3 Bangunan Pendukung Saluran	14
2.3 Perencanaan Ruang IPAL	16
2.4.1 Perencanaan Kapasitas IPAL	17
2.4.2 Perencanaan Lokasi IPAL dan SPAL	17

2.4	Interseptor	18
2.5	Bak Ekualisasi	19
2.6	Pengolahan Primer	21
2.7	Pengolahan Biologis	23
2.8	<i>Secondary Clarifier</i>	27
2.9	<i>Desinfeksi</i>	28
BAB 3 GAMBARAN UMUM		31
3.1	Gambaran Umum Wilayah Perencanaan	31
3.2	Batas Administratif	31
3.3	Topografi Wilayah	31
3.4	Hidrologi	32
3.5	Penduduk	32
BAB 4 METODE PERENCANAAN		35
4.1	Kerangka Perencanaan	35
4.2	Tahapan Perencanaan	36
4.2.1	Ide Perencanaan	36
4.2.2	Studi Literatur	36
4.2.3	Pengumpulan Data	36
4.2.4	Pengolahan Data	37
4.2.5	Hasil dan Pembahasan	38
4.2.6	Pembuatan Laporan	38
4.2.7	Kesimpulan dan Saran	38
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN		39
5.1	Perhitungan Debit Dan Kualitas Air Limbah	39
5.1.1	Perhitungan Debit Air Limbah	39
5.1.2	Kualitas dan Baku Mutu Air Limbah	39
5.2	Perhitungan Sistem Penyaluran Air Limbah	41

5.2.1	Perhitungan Dimensi Pipa	41
5.2.2	Perhitungan Kebutuhan <i>Manhole</i>	49
5.2.3	Perhitungan Kebutuhan <i>Siphon</i>	50
5.3	Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	51
5.3.1	Penilaian Pemilihan alternatif	51
5.3.2	Diagram Alir Pengolahan	55
5.3.3	<i>Detailed Engineering Design</i> (DED)	56
5.3.4	Profil Hidrolis IPAL	83
5.3.5	Rekapitulasi Desain IPAL	85
BAB 6	BOQ, RAB, dan Analisa Investasi	87
6.1.	Perhitungan BOQ dan RAB	87
6.1.1.	Sistem Penyaluran Air Limbah	87
6.1.2.	Instalasi Pengolahan Air Limbah	92
6.1.3.	<i>Operation and Maintenance</i>	96
6.1.4.	Biaya Depresiasi	98
6.1.5.	Biaya Retribusi	98
6.1.6.	Biaya SR	99
6.2.	Analisis Kelayakan Keuangan	99
6.2.1.	Analisis <i>Payback Period</i>	100
6.2.2.	Analisis <i>Net Present Value</i>	100
BAB 7	SOP dan Sistem Tanggap Darurat	103
7.1.	Standar Operasional Prosedur (SOP)	103
7.1.1.	Sistem Penyaluran Air limbah	103
7.1.2.	IPAL	104
7.2.	Sistem Tanggap Darurat	108
BAB 8	KESIMPULAN DAN SARAN	111
8.1.	Kesimpulan	111

8.2. Saran	111
DAFTAR PUSTAKA.....	113
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN SPAL	116
LAMPIRAN 2 <i>SPREADSHEET</i> BOQ SPAL	153
LAMPIRAN 3 COMPOUND INTEREST FACTOR TABLES	196
LAMPIRAN 4 TABEL PERHITUNGAN NPV	197
LAMPIRAN 5 HASIL LABORATORIUM AIR LIMBAH	199
LAMPIRAN 6 DETAILED ENGINEERING DESIGN SPAL	201
LAMPIRAN 6 DETAILED ENGINEERING DESIGN IPAL.....	229
BIOGRAFI PENULIS	239

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penempatan dan Pemasangan Saluran	14
Gambar 2. 2 Contoh Desain Interseptor	18
Gambar 2. 3 Diagram Massa dan debit bak ekualisasi.....	20
Gambar 2. 4 Grafik kualitas air limbah pada bak ekualisasi	21
Gambar 2. 5 Tipikal BOD dan TSS <i>removal</i> BP1.....	22
Gambar 2. 6 Zona Segitiga rasio BOD/COD.....	24
Gambar 2. 7 Contoh <i>Attached</i> dan <i>Suspended Growth</i>	26
Gambar 2. 8 Kurva klorin residual dan dosis	29
Gambar 3. 1 Citra Satelit Wilayah Perencanaan	31
Gambar 4. 1 Kerangka Perencanaan.....	35
Gambar 5. 1 Bagan Alir Proses Pengolahan	55
Gambar 5. 2 Grafik Produksi Air Limbah.....	71

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Karakteristik Tipikal Air Limbah Domestik.....	8
Tabel 2. 2. Baku Mutu Air Limbah Permukiman.....	9
Tabel 2. 3 Jarak <i>Manhole</i> Pipa Lurus.....	15
Tabel 2. 4 Nilai konstanta empirikal BOD dan TSS	22
Tabel 2. 5 Desain tipikal Bak Pengendap 1	23
Tabel 2. 6 Dimensi tipikal Bak Pengendap 1.....	23
Tabel 2. 7 Suspended Growth dan Attached Growth.....	26
Tabel 2. 8 Desain Tipikal <i>Secondary Clarifier</i>	27
Tabel 3. 1 Jumlah Hari hujan tahun 2016	32
Tabel 3. 2 Luas Wilayah dan Jumlah Penduduk Tahun 2016.....	33
Tabel 5. 1 Kualitas Sampel.....	40
Tabel 5. 2 Kualitas Air Limbah Pilihan.....	40
Tabel 5. 3 Contoh <i>Spreadsheet</i> Perhitungan Beban Pipa	43
Tabel 5. 4 Contoh <i>Spreadsheet</i> Perhitungan Dimensi Pipa.....	45
Tabel 5. 5 Contoh Spreadsheet Kedalaman Penanaman.....	48
Tabel 5. 6 Contoh <i>Spreadsheet</i> perhitungan <i>manhole</i>	49
Tabel 5. 7 Pipa Dengan Siphon	50
Tabel 5. 8 Perhitungan Pipa Siphon.....	50
Tabel 5. 9 Efisiensi Removal Unit Pengolahan	52
Tabel 5. 10 Perhitungan Kualitas Effluen MBBR	53
Tabel 5. 11 Perhitungan Kualitas Effluen Tangki Aerasi.....	53
Tabel 5. 12 Perhitungan Kualitas Effluen SBR	54
Tabel 5. 13 Analisa LCC SBR dan MBBR.....	54
Tabel 5. 14 Data Debit.....	56
Tabel 5. 15 <i>Spreadsheet</i> Fluktuasi Debit Air Limbah.....	70
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Dimensi Unit IPAL.....	85
Tabel 6. 1 Contoh <i>Spreadsheet</i> Perhitungan Jumlah Pipa	87
Tabel 6. 2 Contoh <i>Spreadsheet</i> Perhitungan Galian Pipa	90
Tabel 6. 3 Rencana Anggaran Biaya SPAL	91
Tabel 6. 4 Rencana Anggaran Biaya IPAL.....	95
Tabel 6. 5 Total Biaya Investasi (<i>initial cost</i>).....	96
Tabel 6. 6 Total Biaya OM (<i>OM cost</i>).....	97
Tabel 6. 7 Total Biaya Sambungan Rumah	99

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 <i>Spreadsheet</i> beban pipa tersier	116
Lampiran 1. 2 <i>Spreadsheet</i> beban pipa sekunder	131
Lampiran 1. 3 <i>Spreadsheet</i> beban pipa primer	133
Lampiran 1. 4 <i>Spreadsheet</i> dimensi pipa tersier	134
Lampiran 1. 5 <i>Spreadsheet</i> dimensi pipa sekunder	149
Lampiran 1. 6 <i>Spreadsheet</i> dimensi pipa primer.....	152
Lampiran 2. 1 Jumlah Pipa Jalur Tersier.....	153
Lampiran 2. 2 Jumlah Pipa Jalur Sekunder	162
Lampiran 2. 3 Jumlah Pipa Jalur Primer	163
Lampiran 2. 4 Kedalaman Galian Pipa.....	164
Lampiran 2. 5 Volume Galian Pekerjaan Pengadaan SPAL.....	174
Lampiran 2. 6 Volume Pekerjaan Pengadaan SPAL	185
Lampiran 4. 1 <i>Spreadsheet</i> Nilai NPV Awal (Tahun 1-10).....	197
Lampiran 4. 2 <i>Spreadsheet</i> Nilai NPV Awal (Tahun 11-20).....	197
Lampiran 4. 3 <i>Spreadsheet</i> Nilai NPV Iterasi (Tahun 1 – 10) ...	198
Lampiran 4. 4 <i>Spreadsheet</i> Nilai NPV Iterasi (Tahun 11– 20) ..	198

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang diberlakukan mulai 2015 - 2030, Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) menargetkan akses air bersih dan sanitasi menyeluruh, serta pengolahan air limbah rumah tangga yang diolah sesuai dengan standar nasional (Hoelman, 2015). Pemerintah Indonesia melalui program Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2015 - 2019 mencanangkan 100 : 0 : 100, dimana 100% akses air minum aman, 0% kawasan kumuh perkotaan, dan 100% akses sanitasi layak. Salah satu langkah yang diharuskan untuk konservasi sumber daya air yaitu mitigasi pencemaran sungai dengan pengelolaan air limbah domestik.

Surabaya merupakan kota metropolitan terbesar kedua di Indonesia, dengan luas wilayah $\pm 326,81 \text{ km}^2$ dan jumlah penduduk mencapai 2.599.796 jiwa (Kota Surabaya Dalam Angka, 2017). Kota Surabaya dapat dikatakan sebagai kota yang mengalami pertumbuhan ekonomi dan pembangunan infrastruktur yang sangat pesat dan hasilnya dapat dilihat dalam kurun waktu 5 tahun terakhir ini. Adanya kondisi tersebut menciptakan kebutuhan adaptasi lingkungan terhadap beban pencemaran yang dihasilkan dari kegiatan.

Salah satu objek pengelolaan air limbah domestik yaitu dengan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL). SPAL yang umumnya direncanakan di Indonesia yaitu SPAL sistem komunal karena biaya OM yang murah (Buku 3 SPAL domestik-terpusat skala pemukiman, 2016). Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.68 tahun 2016 disebutkan bahwa salah satu persyaratan teknis untuk SPAL yaitu memisahkan saluran air limbah domestik dengan saluran air hujan.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, kawasan tersebut belum mengolah *greywater* sebelum dibuang ke badan air. Pengelolaan kualitas air dan pengendalian air limbah penting untuk dilakukan. Hal tersebut bertujuan untuk mewujudkan kelestarian fungsi air, menjaga dan memperbaiki kualitas air agar air pada sumber air dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan sesuai

dengan peruntukannya. Melestarikan dan menjaga fungsi air memiliki berbagai manfaat dan kepentingan, maka air harus dikelola agar tersedia dalam jumlah dan kualitas yang memenuhi dan dapat menunjang pembangunan yang berkelanjutan (Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 12 tahun 2016). Upaya agar kelurahan Kali Rungkut dan Kedungbaruk dapat menjadi kawasan pemukiman yang nyaman, sehat, dan maju, maka diperlukan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk air limbah domestik *greywater* dan *blackwater* bebas padatan.

Agar proyek pembangunan SPAL dan IPAL dapat terealisasi, diperlukan perhitungan ekonomi mengenai investasi awal serta biaya tahunan. Melalui perhitungan tersebut, akan didapatkan *Payback Period* sesuai dengan biaya retribusi yang dibebankan pada penghuni perumahan. Dana retribusi tersebut akan digunakan untuk pembiayaan *Operational* dan *Maintenance* (OM) SPAL dan IPAL.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari perencanaan ini yaitu:

1. Apakah model Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) air limbah domestik yang cocok diterapkan di kelurahan Kali Rungkut dan Kedungbaruk, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya?
2. Apakah model Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang sesuai untuk dapat diterapkan di kelurahan Kali Rungkut dan Kedungbaruk, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya?
3. Apakah ada kemungkinan investasi dan pembiayaan oleh penghuni perumahan?
4. Bagaimana *Standard Operating Procedure* (SOP) beserta sistem tanggap darurat yang akan diterapkan terhadap SPAL dan IPAL?

1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan ini adalah:

1. Merencanakan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) untuk air limbah domestik di kelurahan Kali Rungkut

dan Kedungbaruk, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya.

2. Merencanakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang sesuai untuk air limbah domestik kelurahan Kali Rungkut dan Kedungbaruk, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya.
3. Menentukan *Bill Of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang telah direncanakan.
4. Menentukan biaya investasi dan *Operational* dan *Maintenance* (OM) yang akan dibayarkan setiap rumah.
5. Menentukan *Standard Operating Procedure* (SOP) beserta sistem tanggap darurat yang akan diterapkan terhadap SPAL dan IPAL.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup perencanaan dalam perencanaan ini meliputi:

1. Area perencanaan kelurahan Kali Rungkut dan Kedungbaruk, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya.
2. Kualitas air limbah domestik diukur pada beberapa titik saluran drainase.
3. Air limbah domestik yang dikelola berupa *greywater* dan *blackwater* bebas padatan.
4. Parameter yang diperhatikan yaitu pH, BOD, COD, TSS, Minyak & Lemak, Amoniak, total Coliform, serta surfaktan
5. Kadar maksimum yang digunakan disesuaikan dengan Permen LH No. 68 Tahun 2016 mengenai "Baku Mutu Air Limbah Domestik".
6. Aspek yang diperhatikan meliputi aspek teknis dan finansial.
7. Analisis finansial terkait biaya *Operational* dan *Maintenance* (OM), dan iuran setiap SR.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dalam perencanaan ini meliputi:

1. Tersedianya dokumen Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) air limbah domestik di kelurahan Kali Rungkut dan Kedungbaruk, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya.
2. Tersedianya nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pembuatan sistem pengelolaan air limbah kelurahan Kali Rungkut dan Kedungbaruk, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya.
3. Tersedianya perhitungan mengenai investasi, dan iuran *Operation* dan *Maintenance* (OM) yang dibebankan ke penghuni perumahan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka digunakan sebagai penentu cakupan perencanaan, beserta arahan dan dasar dari perencanaan yang akan dilakukan. Sumber dari pustaka yang digunakan berupa teori yang terdapat di literatur, maupun jurnal yang telah dipublikasi

2.1 Pengertian Air Limbah Domestik

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 tahun 2016, Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Air limbah domestik bersumber dari rumah tangga, industri rumahan atau tempat - tempat umum yang sifatnya membahayakan makhluk hidup dan mengganggu kelestarian lingkungan (Metcalf dan Eddy, 2014).

Air limbah domestik merupakan air yang telah digunakan oleh masyarakat dan mengandung material – material tambahan yang berasal dari penggunaan air tersebut. Air limbah domestik berasal dari metabolisme manusia (feses dan urin), air siram toilet, pencucian baju, persiapan makanan, dan pembersihan alat masak (Duncan, 2003). Jumlah air limbah yang dibuang akan selalu bertambah dengan meningkatnya jumlah penduduk dengan segala kegiatannya. Apabila jumlah air yang dibuang berlebihan melebihi dari kemampuan alam untuk menerimanya maka akan terjadi kerusakan lingkungan.

2.2.1 Kualitas dan Kuantitas Air Limbah

Kualitas air limbah merupakan salah satu faktor yang paling dasar untuk menentukan model pengolahan yang akan digunakan untuk memenuhi kualitas effluent yang diinginkan. Kuantitas air limbah diperlukan untuk menentukan kebutuhan pipa dalam sistem penyaluran air limbah. Kuantitas air limbah diperlukan untuk menentukan luas lahan yang dibutuhkan sebagai lokasi pembangunan IPAL, serta sistem penyaluran yang akan didesain. Menurut Darsono (1995), kriteria kualitas sumber air ditetapkan berdasarkan baku mutu yang diisyaratkan, sedangkan baku mutu air limbah ditetapkan berdasarkan karakteristik suatu

sumber air penampungan tersebut dan pemanfaatannya. Kualitas air limbah dapat didefinisikan oleh karakteristik fisik, kimia dan biologis. Secara umum karakteristik kimia limbah cair dapat dibedakan menjadi zat organik yang terdiri atas parameter DO, BOD, COD, dan pH.

Biochemical Oxygen Demand merupakan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk dapat menguraikan atau mendekomposisikan bahan organik dalam kondisi aerobik. Chemical Oxygen Demand merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses penguraian seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Karakter fisik limbah cair terkait dengan kenampakannya karena sifat fisiknya yang terlihat dan mudah diidentifikasi secara langsung, seperti TDS dan TSS (Sari, dkk., 2015). Total Suspended Solids (TSS) merupakan padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan anorganik yang disaring dengan kertas milipore berpori-pori 0,45 mikromil (Agustira, dkk., 2013).

Parameter biologi dapat dilihat dari banyaknya mikroorganisme pathogen atau penyebab penyakit yang berada pada suatu wilayah. Dosis minimal (minimal infective dose) bervariasi tergantung dari jenis organisme parasitnya, misalnya Coliform dan Salmonella, untuk dapat menyebabkan penyakit dosisnya antara ribuan sampai beberapa juta (Said, 2005). Kuantitas air limbah domestik yang masuk ke fasilitas IPAL disarankan minimal 0,08 kg BOD5 per kapita per hari, 0,09 kg padatan tersuspensi per kapita per hari, dan bila nitrifikasi dibutuhkan, minimal 0,016 kg Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) per kapita per hari (Health Research, 2014).

2.2.2 Karakteristik dan Baku Mutu Air Limbah

Parameter kualitas air yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. pH
Kadar pH yang baik adalah pH masih dalam keadaan yang menunjang kehidupan biologis di air dapat berjalan dengan baik (Asmadi, 2012)
2. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)
Biochemical Oxygen Demand atau BOD adalah jumlah oksigen yang harus dipakai oleh mikroorganisme yang ada

di dalam air buangan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam air buangan pada periode tertentu biasanya 5 hari dan pada suhu tertentu biasanya 20° C (Moertinah, 2010).

3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand atau COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan-bahan yang dapat teroksidasi dalam air buangan oleh senyawa-senyawa oksidator ($K_2Cr_2O_7$) (Moertinah, 2010).

4. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS atau jumlah padatan yang tersuspensi merupakan padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan anorganik yang disaring dengan kertas milipore berpori-pori 0,45 mikromil (Agustira, dkk., 2013).

5. Minyak Dan Lemak

Minyak dan lemak dapat mempengaruhi aktifitas mikroba dan merupakan pelapisan permukaan cairan limbah sehingga menghambat proses oksidasi pada kondisi aerobik. Minyak tersebut dapat dihilangkan saat proses netralisasi dengan penambahan NaOH dan membentuk sabun berbusa (scum) yang sering mengapung dipermukaan dan bercampur dengan benda-benda lain pada permukaan limbah (Naibaho, 1996).

6. Amonia

Konsentrasi amonia yang tinggi dalam badan sungai mengindikasikan adanya pencemaran yang salah satunya disebabkan oleh buangan air limbah domestik baik segar (tidak terolah) maupun telah terolah, 49% dari total pencemaran, (Halling-Sørensen, B. dan Jørgensen, 1993). Beberapa jenis ikan akan mati lemas karena kadar ammonia yang terlalu tinggi dapat mengurangi konsentrasi oksigen di air (Widayat, dkk., 2010)

7. *Total Coliform*

Air yang mengandung pathogen tidak dapat digunakan untuk keperluan konsumsi terutama untuk minum maupun mencuci makanan ataupun memasak (Fardiaz, 1992). Beberapa jenis pathogen yang umum dijumpai di lingkungan perairan yang tercemar adalah bakteri – bakteri

golongan *coliform*, seperti *Streptococcus*, *Aerobacter*, dan *Escherichia* (Winarno, 1977). Bakteri golongan ini seringkali digunakan sebagai indikator utama cemaran mikroba di dalam air karena merupakan kelompok bakteri yang mampu hidup dalam air yang sangat kotor serta dapat diidentifikasi secara spesifik (Wahjuningsih, 2001), sehingga semakin banyak jumlah *coliform* artinya kualitas air semakin buruk.

Adapun karakteristik tipikal/normal air limbah domestik sebagai berikut :

Tabel 2. 1. Karakteristik Tipikal Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	<i>Low Strength</i>	<i>Medium Strength</i>	<i>High Strength</i>
BOD ₅	mg/L	110	190	350
Chemical Oxygen Demand	mg/L	250	430	800
Total Solid (TS)	mg/L	390	720	1230
Volatile Solid (VS)	mg/L	270	500	860
Total Suspended Solids (TSS)	mg/L	120	210	400
Volatile Suspended Solids (VSS)	mg/L	95	160	315
Total Nitrogen, N	mg/L	20	40	70
sebagai:				
Organik	mg/L	8	15	25
Ammonia	mg/L	12	25	45
Nitrit	mg/L	0	0	0
Nitrat	mg/L	0	0	0
Total Phosphorus, P	mg/L	4	7	12
sebagai:				
Organik	mg/L	1	2	4
Anorganik	mg/L	3	5	8

Parameter	Satuan	Low Strength	Medium Strength	High Strength
Minyak dan Lemak	mg/L	50	90	100
Klorit	mg/L	30	50	90
Sulfat	mg/L	20	30	50
Total Coliform	Col/100 mL	10^6-10^8	10^7-10^9	10^7-10^{10}
Fecal Coliform	Col/100 mL	10^3-10^5	10^4-10^6	10^5-10^8

(Sumber: Doran, 2008)

Baku mutu air limbah yang digunakan mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik. Parameter yang diukur pada air limbah domestik selengkapnya terdapat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 2. Baku Mutu Air Limbah Permukiman

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100 mL	3000
Debit	L/Orang/hari	100

(Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik)

2.2.3 Debit Air Limbah

Debit air limbah berasal dari kegiatan domestik dapat dicari dengan mengalikan debit rata-rata air bersih dengan persentase kemungkinan air bersih menjadi air limbah. Debit air

limbah domestic yang akan dibuang bekisar antara 60-80% dari debit air minum, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_w = (60-80)\% \times Q_{ave} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

Q_w = Debit rata-rata air limbah (liter/orang.hari)

Q_{ave} = Debit rata-rata air bersih (liter/orang.hari)

Adanya kehilangan 20-40% dalam pemakaian ini karena air minum tidak hanya digunakan untuk keperluan primer seperti mandi, cuci, makan, tetapi juga untuk keperluan lain seperti menyiram tanaman atau mencuci kendaraan.

Debit air limbah tidak dapat berlangsung konstan selama 24 jam. Hal ini dikarenakan terdapat fluktuasi yang dipengaruhi dari pemakaian air bersih pada perumahan tersebut. Ketika pemakaian air bersih berada pada jam puncak maka air limbah yang dihasilkanpun akan semakin membesar. Debit air limbah puncak (Q_{peak}) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{peak} = f_{peak} \times Q_{ave} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

Q_{peak} = Debit air limbah puncak (l/detik)

f_{peak} = Faktor puncak

Q_{ave} = Debit air limbah rata-rata (l/detik)

Faktor puncak merupakan rasio keamanan antara debit puncak dengan debit rata-rata. Adapun terdapat tiga jenis metode untuk menentukan faktor puncak yang disesuaikan pemakaiannya dengan kondisi perencanaan, yaitu:

Tabel 2. 3 Persamaan Faktor puncak

Metode	Formula	Durasi puncak	Syarat penggunaan
Babbitt dan Baumann	$\frac{5}{p^{0,2}}$	Spontan	$1 \leq P \leq 1000$, P dalam ribuan
Harmon	$2,5; \text{ atau } 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \approx \frac{4,2}{p^{0,16}}$	Beberapa jam	P dalam ribuan
Munksgaard dan Young	$\frac{2,97}{Q^{0,0907}}$	Puncak tahunan ekstrem (4 jam)	Q dalam $m^3/detik$

Metode	Formula	Durasi puncak	Syarat penggunaan
	$\frac{2,9}{Q^{0,0902}}$	Puncak tahunan ekstrim (8 jam)	Q dalam m ³ /detik
	$\frac{1,75}{Q^{0,036}}$	Puncak tahunan ekstrim (24 jam)	Q dalam m ³ /detik

(Sumber: Imam, Emad H. *Design Flow Factors for Sewerage Systems in Small Arid Communities*)

Debit air limbah minimum juga dapat terjadi ketika pemakaian air tidak terlalu banyak. Menggunakan rumus oleh Fair dan Geyer dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{\min} = 0,2 \times P^{1/6} \times Q_{\text{ave}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

Q_{min} = Debit air limbah minimum (l/detik)

P = Jumlah penduduk (Jiwa)

2.2 Sistem Penyaluran Air Limbah

Berdasarkan sumber air yang masuk ke pipa, sistem penyaluran air limbah dibagi menjadi tiga, yaitu sistem saluran terpisah, sistem saluran tercampur, dan sistem saluran kombinasi.

Sistem Penyaluran terpisah atau biasa disebut separate system/full sewerage adalah sistem dimana air buangan disalurkan tersendiri dalam jaringan riol tertutup, sedangkan limpasan air hujan disalurkan tersendiri dalam saluran drainase khusus untuk air yang tidak tercemar (Fajarwati, 2000).

Sistem penyaluran tercampur merupakan sistem pengumpulan air buangan yang tercampur dengan air limpasan hujan. Sistem ini digunakan apabila daerah pelayanan merupakan daerah padat dan sangat terbatas untuk membangun saluran air buangan yang terpisah dengan saluran air hujan, debit masing-masing air buangan relatif kecil sehingga dapat disatukan, memiliki kuantitas air buangan dan air hujan yang tidak jauh berbeda serta memiliki fluktuasi curah hujan yang relatif kecil dari tahun ke tahun (Sugiharto, 1987).

Pada sistem penyalurannya secara kombinasi dikenal juga dengan istilah *interceptor*, dimana air buangan dan air hujan disalurkan bersama-sama sampa griti tempat tertentu baik melalui saluran terbuka atau tertutup, tetapi sebelum mencapai lokasi instalasi antara air buangan dan air hujan dipisahkan dengan bangunan regulator. Air buangan dimasukkan ke saluran pipa induk untuk disalurkan ke lokasi pembuangan akhir, sedangkan air hujan langsung dialirkan ke badan air penerima. Pada musim kemarau air buangan akan masuk seluruhnya ke pipa induk dan tidak akan mencemari badan air penerima (Hardjosuprpto 2000).

2.3.1 Perpipaan Air Limbah Domestik Diameter Kecil (*Small Bore Sewer*)

Saluran pada sistem roil ukuran kecil (*small bore sewer*) dirancang hanya untuk menerima air limbah domestik yang berasal dari air buangan kamar mandi, cuci dapur sehingga bebas dari zat padat (PUPR, 2017). Pasir, lemak, dan beberapa jenis padatan lainnya yang berpotensi untuk menimbulkan masalah pada saluran pembuangan dapat dipisahkan menggunakan tangki *interceptor* yang dipasang pada setiap sambungan ke saluran pembuangan (Otis, 1985).

Karena saluran ini tidak mengalirkan padatan, saluran ini tidak mengharuskan adanya kecepatan minimum aliran untuk terjadinya *self-cleansing*. Pipa yang dipasang hanya pipa persil dan servis menuju sub-sistem pengolahan. Pipa lateral dan pipa induk digunakan apabila sistem ini diterapkan di daerah perencanaan dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Adapun standar *small bore sewer* yang telah ditetapkan di Panduan Permen PUPR No. 4 Tahun 2017 yaitu:

- a. Diameter pipa minimal yaitu 100 mm karena tidak membawa padatan
- b. Kecepatan maksimum yaitu 3 m/s
- c. Tidak ada kecepatan self cleansing karena tidak membawa padatan

Untuk desain hidraulik, *small bore sewer* dapat didesain dibawah *Hydraulic Grade Line* (HGL). Dengan demikian, aliran dalam *small bore sewer* bisa disesuaikan antara saluran terbuka dan aliran bertekanan (Otis, 1985). Metode desain pipa pengaliran

penuh yang digunakan yaitu Manning. Pada perhitungan kecepatan aliran, dapat digunakan persamaan Manning, yaitu:

$$v = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- v = Kecepatan aliran (m/s)
- n = Koef. Kekasaran Manning
- R = Jari jari hidraulik (m)
- S = Kemiringan, (m/m)

Untuk menghitung diameter dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$D_{\text{teoritis}} = \frac{1,5845 (nQ_F)^{2/3}}{S^{3/16}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

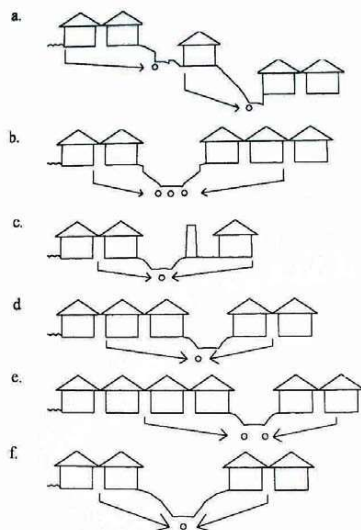
- D = Diameter pipa (mm)
- n = Koef. Kekasaran Manning
- Q_F = Q_{full} (m³/detik)
- S = Kemiringan, (m/m)

2.3.2 Penempatan dan Pemasangan Saluran

Penempatan dan pemasangan saluran dapat bervariasi sesuai kebutuhan dan kondisi lapangan (DPU, 1986), yaitu:

- a. Penempatan saluran pada sisi jalan dengan elevasi lebih tinggi yaitu bila jalan – jalan dengan rumah atau bangunan di satu sisi lebih tinggi dari sisi lain.
- b. Di tepi jalan, sebaiknya id bawah trotoir atau tanggul jalan untuk menjaga kemungkinan dilakukan penggalian di kemudian hari untuk perbaikan.
- c. Penempatan di tengah, bahwa jalan, bila jalan tidak terlalu lebar dan penerimaan air buangan dari dua arah yaitu kanan dan kiri jalan.
- d. Saluran ditempatkan di tepi jalan pada bagian yang paling banyak memberikan beban air buangan, bila beban penerimaan air buangan dari kanan dan kiri jalan tidak sama
- e. Saluran bisa diletakkan di tepi jalan pada bagian yang paling banyak memberikan beban air buangan, bila beban penerimaan air buangan dari kanan dan kiri jalan tidak sama

- f. Penempatan saluran bisa di tengah jalan bila jalan tersebut mempunyai jumlah rumah atau bangunan sama banyak di kedua sisinya dan mempunyai elevasi lebih tinggi daripada jalanan



Gambar 2. 1 Penempatan dan Pemasangan Saluran
(Sumber : DPU, 1986)

2.3.3 Bangunan Pendukung Saluran

Bangunan pendukung saluran ialah seluruh bangunan yang bertujuan untuk menjaga pengaliran air limbah pada saluran dapat bekerja sebagaimana mestinya. Adapun beberapa bangunan yang dimaksud adalah sebagai berikut (Masduki, 2000).

a. *Manhole*

Manhole merupakan bangunan yang berfungsi sebagai tempat pembersihan, pemeliharaan, pemeriksaan, dan perbaikan saluran. Fungsi lain dari *manhole* adalah untuk sebagai titik pertemuan antara beberapa jalur pipa. Pada pipa berdiameter kecil (0,2 – 1,2)m, *manhole* diletakkan secara sentrik, langsung diatas pipa. Jenis penempatan *manhole* terbagi menjadi empat, yaitu pada setiap jarak tertentu, perubahan kemiringan pipa, pertemuan atau

percabangan saluran, dan pada titik masuk dan keluar bangunan lain. Adapun jarak tiap *manhole* pada jalur pipa lurus yaitu:

Tabel 2. 4 Jarak *Manhole* Pipa Lurus

Diameter Pipa (mm)	Jarak Manhole (m)
20 – 50	50 – 75
50 – 75	75 – 125
100 – 150	125 – 150
150 – 200	150 – 200
1000	100 – 150

(Sumber : PUPR, 2017)

Dimensi horizontal dari *manhole* harus cukup untuk melakukan pemeriksaan dan pembersihan dengan masuk ke dalam saluran. Dimensi vertical tergantung pada kedalamannya. Adapun dimensi minimal sesuai standar PUPR yaitu:

- Untuk kedalaman sampai 0,8m : 75 cm x 75 cm
- Untuk kedalaman (0,8 – 2,1)m : 120 cm x 90 cm atau diameter 1,2m
- Untuk kedalaman >2,1m : 120 cm x 90 cm atau diameter 1,4m

Pada *drop manhole* terdapat pipa samping pada dasar *chamber*. Adapun diameter pipa samping mengacu pada diameter pipa *inflow*, seperti pada tabel dibawah ini

Diameter Pipa Inflow mm	Diameter Pipa Samping mm
200	150
250	200
300	200
400	200
500	250
600	300

(Sumber : PUPR, 2017)

b. Pipa Perlintasan (*Siphon*)

Pipa perlintasan berupa bangunan perlintasan, seperti pada sungai/kali, jalan kereta api, atau depressed highway.

- Inlet dan outlet (*Box*)

Berfungsi sebagai pengendalian debit dan fasilitas pembersihan pipa.

- *Depressed sewer* (pipa *siphon*)

Berfungsi sebagai perangkat, sehingga kecepatan pengaliran harus cukup tinggi, diatas 1 m/detik pada saat debit rata-rata. Terdiri dari minimal 3 bagian pipa *siphon* dengan dimensi yang berbeda, minimal 150 mm. pipa ke 1 didesain dengan Q_{min} , pipa e 2 didesain dengan $(Q_r - Q_{min})$, dan pipa ke 3 didesain dengan $(Q_p - Q_r)$.

2.3 Perencanaan Ruang Instalasi Pengolahan Air Limbah

Berdasarkan lokasi peletakan Instalasi Pengolahan Air Limbah, sistem pembuangan air limbah domestik terbagi menjadi 2 (dua) macam, yaitu sistem pembuangan setempat (*on-site*) dan sistem pembuangan terpusat (*off-site*), dan setiap sistem memiliki kelebihan dan kekurangan untuk dipertimbangkan (Masduki, 2000). Perencanaan ruang IPAL didesain sedemikian rupa agar air limbah dapat dialirkan dengan efisien dan tidak menimbulkan dampak buruk bagi manusia dan lingkungan.

Sistem pembuangan setempat adalah sistem pembuangan air limbah dimana air limbah tidak dikumpulkan dan tidak disalurkan ke dalam suatu jaringan saluran yang akan membawanya ke suatu tempat pengolahan ataupun badan air melainkan dibuang di tempat. Sistem ini dapat dipakai bila syarat teknis lokasi dapat dipenuhi dan biaya relatif rendah (Herliana, 2007).

Sistem pembuangan terpusat adalah sistem pembuangan air limbah baik *greywater* maupun *blackwater* kepada lokasi yang terletak diluar kawasan sumber air limbah. Sistem penyaluran air buangan dapat dilakukan secara terpisah, tercampur, maupun kombinasi antara saluran air buangan dengan saluran air hujan (Masduki, 2000).

2.4.1 Perencanaan Kapasitas IPAL

Perencanaan kapasitas IPAL dibutuhkan untuk menentukan ruang yang akan digunakan untuk membangun IPAL. Adapun beberapa faktor penentu kapasitas IPAL yang ditentukan yaitu:

- a. Debit rata – rata air limbah digunakan untuk perhitungan pengolahan sekunder.
- b. Debit puncak air limbah digunakan untuk perhitungan pada unit bak pengendapan 1, ataupun bak pengendapan 2 (PUPR, 2017)

2.4.2 Perencanaan Lokasi IPAL dan SPAL

Pada perencanaan lokasi IPAL dan SPAL diperlukannya harmonisasi terhadap RTRW. Harmonisasi tersebut bertujuan untuk menelaah pengaruh rencana struktur tata ruang terhadap penyelenggaraan, sehingga didapatkan kriteria pemilihan lokasi IPAL yaitu:

- a. Jarak IPAL dengan pemukiman
- b. Topografi dan kemiringan lahan
- c. Jenis tanah
- d. Tata guna lahan
- e. Badan air penerima
- f. Banjir
- g. Legalitas lahan; dan
- h. Batas administrasi wilayah

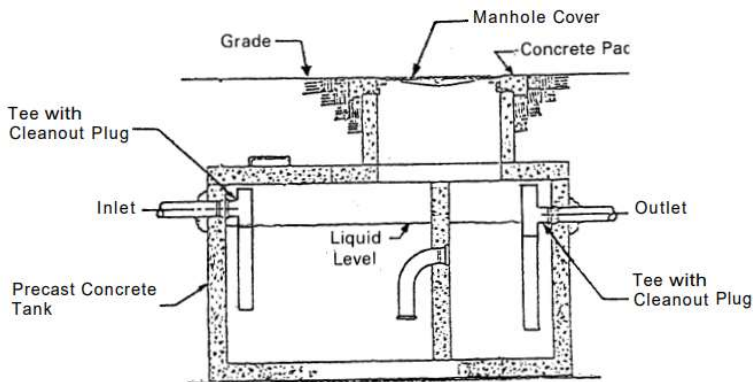
Menurut panduan Permen PUPR No.4 Tahun 2017, terdapat beberapa tinjauan untuk sistem pengelolaan air limbah domestik (SPALD) antara lain:

- a. Kondisi dan perkembangan perilaku masyarakat dalam membuang air limbah domestik;
- b. Kondisi kesehatan masyarakat terkait penyelenggaraan SPALD di daerah dan kawasan perencanaan;
- c. Kondisi pencemaran air limbah domestik saat ini dan yang akan datang tanpa adanya penyelenggaraan SPALD;
- d. Capaian kinerja penyelenggaraan SPALD jangka pendek sebelumnya;
- e. Permasalahan yang terjadi dalam penyelenggaraan SPALD pada aspek teknis, kelembagaan, keuangan, peran serta masyarakat dan peraturan;

- f. Potensi yang dapat dikembangkan pada aspek teknis dalam penyelenggaraan SPALD;
- g. Potensi yang dapat dikembangkan pada aspek keuangan Pemerintah Daerah dalam penyelenggaraan SPALD;
- h. Potensi yang dapat dikembangkan pada aspek kelembagaan Pemerintah Daerah dalam penyelenggaraan SPALD; dan
- i. Potensi yang dapat dikembangkan pada aspek peran serta masyarakat dalam penyelenggaraan SPALD.

2.4 Interseptor

Interseptor merupakan bangunan yang digunakan untuk mencegah adanya padatan ataupun minyak dan lemak untuk masuk ke saluran perpipaan yang dapat menimbulkan penyumbatan pipa. Asas yang digunakan dalam bangunan ini adalah memberikan ruang untuk minyak dan lemak mengapung, dan padatan lainnya disaring dengan *sieve* yang sesuai agar yang masuk ke perpipaan hanya air saja. Pembersihan lemak dan padatan berkala harus dilaksanakan agar performa bangunan tetap terjaga.



Gambar 2. 2 Contoh Desain Interseptor
(Sumber : EPA,1980)

2.5 Bak Ekualisasi

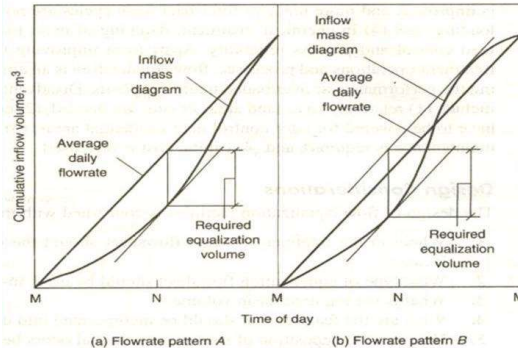
Bak ekualisasi adalah suatu bak penampung air limbah agar debit air limbah yang diolah menjadi konstan (Tchobanoglous et al., 2003) bak ekualisasi bukan merupakan suatu proses pengolahan. Kegunaan dari bak ekualisasi adalah:

1. Sebagai penampung air limbah, sehingga membuat air limbah yang masuk dari berbagai sumber dapat bercampur sehingga menghasilkan karakteristik air limbah yang homogen.
2. Menstabilkan debit air limbah yang masuk kedalam instalasi pengolahan air limbah akibat adanya variasi debit yang masuk.
3. Menstabilkan konsentrasi air limbah yang akan masuk kedalam IPAL.

Tipe pemasangan bak ekualisasi dibagi menjadi dua macam, yaitu sistem in-line dan sistem off-line. Penempatan lokasi bak ekualisasi disesuaikan dengan sistem IPAL. Penempatan bak setelah pengolahan fisik dapat mengurangi padatan tersuspensi yang masuk kedalam bak ekualisasi, namun apabila penempatan bak sebelum pengolahan fisik, maka bak tersebut harus dapat menyeimbangkan padatan yang tersuspensi dan konsentrasi limbah.

Cara menghitung dimensi unit bak ekualisasi dapat menggunakan gambar 2.3. Langkah perhitungan yang dilakukan adalah:

1. Menghitung total volume dari masing-masing debit per periode dimulai dari periode paling awal hingga paling akhir
2. Grafik kumulatif diplot pada diagram massa dan debit untuk memperoleh volume bak yang dibutuhkan
3. Membuat garis parallel yang menghubungkan antara tangen debit rata-rata dengan titik terbawah diagram massa. Volume bak direpresentasikan oleh garis vertikal tersebut



Gambar 2. 3 Diagram Massa dan debit untuk menghitung volume bak ekualisasi

(Sumber: Tchobanoglous et al., 2003)

Menentukan pengaruh bak ekualisasi terhadap BOD mass loading dapat mengikuti langkahlangkah sebagai berikut:

1. Menghitung volume air limbah pada bak ekualisasi pada tiap-tiap akhir waktu. Perhitungan volume menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} + V_{oc} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

VSC = volume bak ekualisasi pada periode sekarang

VSP = volume bak ekualisasi periode sebelumnya

VIC = volume inflow selama waktu sekarang

VOC = volume outflow selama waktu sekarang

2. Menghitung konsentrasi rata-rata yang keluar dari bak ekualisasi. Diasumsikan air limbah tercampur secara homogen, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$X_{oc} = \frac{(V_{ic})(X_{ic}) + (V_{sp})(X_{sp})}{V_{ic} + V_{sp}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

XOC = konsentrasi rata-rata BOD efluen pada periode sekarang (mg/l)

VIC = volume influen periode sekarang (m³)

XIC = konsentrasi BOD influen rata-rata (mg/l)

VSP = volume air limbah pada akhir periode sebelumnya (m³)

XSP = konsentrasi BOD air limbah pada akhir periode sebelumnya (mg/l)

3. Hitunglah mass loading rate per jam dengan persamaan berikut:

$$MLR = \frac{(X_{oc})(Q_i)(3600 \text{ s/h})}{10^3 \text{ g/kg}} \dots\dots\dots (2.9)$$

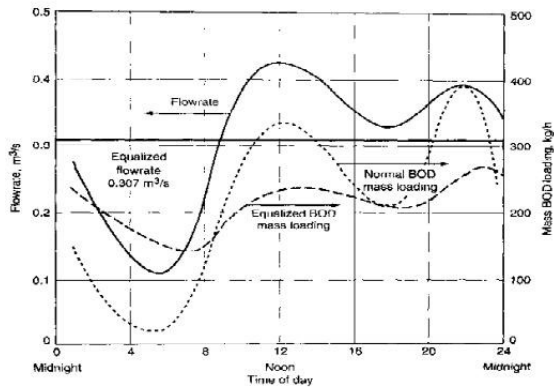
Dimana :

MLR = mass loading rate (kg/jam)

XOC = konsentrasi rata-rata BOD effluen periode sekarang (mg/l)

Qi = debit aliran pada waktu sekarang (m³/s)

4. Plotkan data pada grafik dibawah ini



Gambar 2. 4 Grafik kualitas air limbah pada bak ekualisasi
(Sumber : Tchobanoglous et al., 2003)

2.6 Pengolahan Primer

Pengolahan primer merupakan unit operasi pengolahan air limbah dari segi fisik, biasanya terdiri dari unit – unit operasi penyaringan, pengendapan pasir dan pengendapan zat-zat padat yang lebih halus atau zat tersuspensi dengan cara pengapungan (flotasi) dan juga untuk pemisahan minyak/lemak. Bak pengendapan pertama biasanya digunakan sebagai tahap paling awal pada pengolahan air limbah. Adapun tujuan dari sedimentasi adalah untuk menghilangkan bagian dari padatan organik, dan dapat dirancang hingga mencapai efisiensi *removal* padatan tersuspensi sebesar 50 hingga 70 persen, serta 25 hingga 40 persen efisiensi removal BOD (Metcalf, 2014).

Untuk kemampuan tipikal bak pengendap 1 dalam menghilangkan BOD dan TSS, sebagai fungsi dari waktu detensi dan konstituen konsentrasi dapat digambarkan dalam korelasi kurvalinear yang berasal dari observasi, serta dapat dihitung dengan permodelan (Tchobanoglous, 1998):

$$R = \frac{t}{a + bt} \dots\dots\dots (2.10)$$

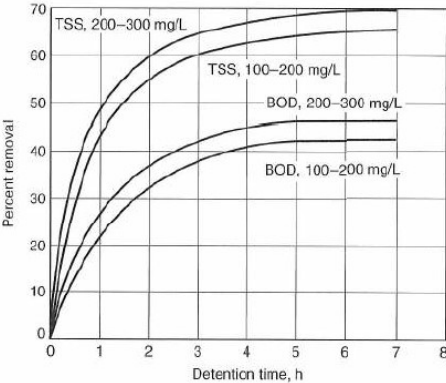
Dimana :
R = efisiensi *removal* teoritis
t = waktu detensi
a,b = konstanta empirikal
adapun nilai tipikal dari konstanta empirikal pada 20°C yaitu

Tabel 2. 5 Nilai konstanta empirikal BOD dan TSS

Parameter	b	a
BOD	0,020	0,018
TSS	0,014	0,0075

(Sumber : Metcalf, 2014)

Kurva korelasi antara waktu detensi dengan efisiensi *removal* BOD dan TSS dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 2. 5 Tipikal BOD dan TSS *removal* BP1

(Sumber : Metcalf, 2014)

Adapun beberapa informasi dasar mengenai desain dan data dimensi disajikan pada tabel 2.6 dan tabel 2.7 berikut ini:

Tabel 2. 6 Desain tipikal Bak Pengendap 1

Item	Rentang	Tipikal	Satuan
Bak pengendap pertama dilanjutkan dengan pengolahan sekunder			
Waktu detensi	1,5 – 2,5	2	jam
<i>Overflow Rate</i>			
Debit rata – rata	30-50	40	m ³ /m ² .hari
Debit jam puncak	80-120	100	m ³ /m ² .hari
WLR	125-500	250	m ³ /m.hari
Bak pengendap pertama dengan <i>return</i> lumpur aktif			
Waktu detensi	1,5 – 2,5	2	Jam
<i>Overflow Rate</i>			
Debit rata – rata	24 – 32	28	m ³ /m ² .hari
Debit jam puncak	48 – 70	60	m ³ /m ² .hari
WLR	125 – 500	250	m ³ /m.hari

(Sumber : Metcalf, 2014)

Tabel 2. 7 Dimensi tipikal Bak Pengendap 1

Item	Rentang	Tipikal	Satuan
Persegi			
Kedalaman	3 – 4,9	4,3	m
Panjang	15 – 90	24 – 40	m
Lebar	3 – 24	4,9 – 9,8	m
<i>Flight speed</i>	0,6 – 1,2	0,9	m/min
Lingkar			
Kedalaman	3 – 4,9	4,3	m
Diameter	3- 60	12 – 45	m
Kemiringan dasar	1/16 – 1/6	1/12	mm/mm
<i>Flight Speed</i>	0,02 – 0,05	0,03	Rev/min

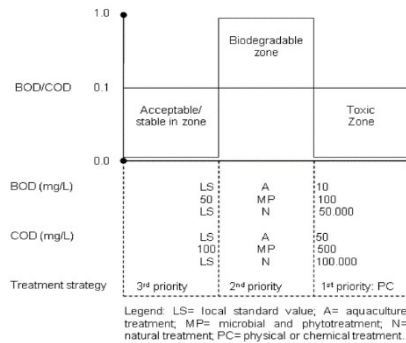
(Sumber : Metcalf, 2014)

2.7 Pengolahan Biologis

Pengolahan biologis merupakan bagian penting dari instalasi pengolahan air limbah yang mengolah air limbah baik dari pemukiman ataupun industri yang mengandung zat pengotor organik yang terlarut (Mittal, 2011). Pada saat penentuan

pengolahan biologis yang akan dilakukan, sangat penting untuk mengetahui sumber dari air limbah, karakteristik tipikal air limbah, kualitas effluen yang direncanakan, kemampuan suatu bangunan terhadap kualitas dan kuantitas air limbah, serta pretreatment yang digunakan (Schultz, 2005).

Pada prinsipnya, pengolahan biologis menggunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik terlarut yang kompleks menjadi lebih sederhana, serta menghasilkan biomassa. Untuk menentukan apakah suatu air limbah dapat diolah secara biologis haruslah merujuk kepada nilai rasio BOD/COD. Semakin tinggi nilai rasio, maka semakin *biodegradable* limbah yang akan diolah. Untuk nilai rasio dianjurkan $\geq 0,5$ sehingga tidak terjadi masalah dalam proses biologis. Hubungan antara nilai BOD/COD dengan level air limbah (toksik, *biodegradable*, dan stabil) terdapat pada gambar berikut:



Gambar 2. 6 Zona Segitiga rasio BOD/COD

(Sumber : Mangkoedihardjo, 2010)

Pengolahan biologis berdasarkan presensi oksigen terbagi menjadi dua, yaitu pengolahan aerobik dan pengolahan anaerobik. Pengolahan aerobik dapat mengoksidasi zat terlarut dengan cepat, dan sangat cocok digunakan pada daerah dengan ketersediaan lahan yang sedikit (Buchanan, 2004). Beberapa kelebihan lainnya dari pengolahan secara aerobik adalah bau dari IPAL yang tidak terlalu menyengat, serta penurunan kadar BOD yang signifikan. Namun, pengolahan aerobik membutuhkan biaya tambahan untuk menjaga level oksigen terlarut. Hal lainnya yang perlu diperhatikan adalah produksi biomassa yang lebih cepat

akibat dari pertumbuhan aktif secara aerobik yang didukung oleh suplai oksigen yang cukup dari aerasi.

Pengolahan anaerobik merupakan dekomposisi metanogenik bahan organik dalam kondisi bebas oksigen dan melibatkan beberapa konsorsium campuran dari berbagai jenis spesies mikroorganisme anaerobik yang mengubah bahan organik menjadi biogas (Wilkie, 2005). Beberapa kelebihan pengolahan anaerobik yaitu teknologi yang sederhana namun efisiensi tinggi, produksi lumpur yang tidak terlalu banyak, start up yang cepat (<1 minggu) menggunakan lumpur granular anaerobik sebagai pemicu, dan biaya operasi yang tidak terlalu tinggi (Lier, 2008). Berdasarkan teknik pengendalian (immobilisasi) mikroorganisme yang digunakan, pengolahan biologis terbagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. *Suspended Growth Processes*

Suspended Growth Processes adalah proses pengolahan dengan memanfaatkan mikroorganisme pengurai zat organik yang tersuspensi dalam limbah cair yang akan diolah. Salah satu unit yang menggunakan sistem ini yaitu kolam stabilisasi.

2. *Attached Growth Processes*

Attached Growth Processes adalah pengolahan yang memanfaatkan mikroorganisme yang menempel pada media yang membentuk lapisan film untuk menguraikan zat organik. Proses ini sering disebut sebagai *fix bed*, dimana Influen akan melakukan kontak dengan media sehingga terjadi proses biokimia. Salah satu kelebihan dari *Attached Growth Processes* adalah dapat memuat mikroorganisme yang lebih banyak, sehingga mampu menurunkan kadar organik dengan waktu tinggal hidraulik yang singkat (Loupasaki, 2012). Beberapa contoh dari unit modern yang menggunakan sistem ini adalah *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan IFAS.

Tabel 2. 8 Perbandingan Suspended Growth dan Attached Growth

<i>Suspended Growth</i>	<i>Attached Growth</i>
Produksi lumpur aktif lebih banyak	Produksi lumpur aktif lebih sedikit
Biomassa bergerak mengikuti effluen	Biomassa stasioner terhadap effluen
Kontak antara biomassa dengan effluen berlangsung dalam hitungan jam	Kontak antara biomassa dengan effluen berlangsung dalam hitungan menit
Kualitas effluen lebih unggul	Kualitas effluen lebih rendah
Bisa didesain untuk penurunan kadar nutrient biologis	Kemampuan terbatas untuk penurunan kadar nutrient biologis
Desain memperhatikan beban hidraulik dan beban padatan	Desain <i>clarifier</i> hanya memperhatikan beban hidraulik

(Sumber : *Wastewater Collection And Treatment Facilities Integrated Master Plan*, 2008)

Berikut merupakan contoh gambar dari masing masing sistem :



(a)



(b)

Gambar 2. 7 (a) Attached Growth MBBR dan; (b) Suspended Growth Kolam Stabilisasi

(Sumber: americanwatercollege.org)

2.8 Secondary Clarifier

Pemisahan padatan dengan fluida sangat bergantung pada dua faktor, yaitu pengendapan dengan gravitasi untuk menghilangkan 99,5% dari cairan tercampur TSS dari effluent yang telah diolah, serta pemadatan dari lumpur aktif yang mengendap sebelum pengaliran kembali ke proses pengolahan untuk pencampuran dan pengolahan dengan air limbah influen (Metcalf, 2014). Dalam mendesain *secondary clarifier* perlu diperhatikan *Surface Overflow Rate* serta *Solid Loading Rate*. Parameter tersebut sangat bergantung pada desain dan operasional dari sistem lumpur aktif yang mempengaruhi karakteristik flok cairan tercampur dan jumlah padatan terdispersi yang tidak terikut pada partikel flok saat pengendapan. Adapun *Surface Overflow Rate* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{SOR} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

SOR = Surface Overflow Rate, $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$

Q = influent flowrate, m^3/hari

A = Luas permukaan *clarifier*, m^2

Pemilihan dari SOR dipengaruhi oleh persyaratan effluen dan kebutuhan penyediaan performa proses yang konsisten. SOR tipikal dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 9 Desain Tipikal Secondary Clarifier

Tipe pengolahan	Overflow Rate ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$)		Solid Loading ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$)		Kedalaman air sampling (m)
	Rerata	Puncak	Rerata	Puncak	
Pengendapan dilanjutkan lumpur aktif (selain aerasi diperpanjang)	16 – 28	36 – 56	4 – 6	10	4,0 – 5,5
Selectors, penghilangan nutrient biologis	24 – 32	40 – 64	5 – 8	10	4,0 – 5,5
Pengendapan diikuti aerasi diperpanjang	8 – 16	24 – 32	1 – 5	8	4,0 – 5,5

(Sumber : Metcalf, 2014)

Solid Loading Rate (SLR) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung batas *thickening* dari *secondary clarifier*. Adapun persamaan untuk mencari SLR ialah:

$$SLR = \frac{(Q+Q_R)MLSS \left(1 \frac{\text{kg}}{10^3 \text{g}}\right)}{A} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

SLR = *Solids Loading Rate*, kg TSS/m².jam

Q = debit influen pengolahan sekunder, m³/jam

Q_R = debit *return* lumpur aktif, m³/jam

MLSS = Mixed Liquor Suspended Solids, g/m³

A = Luas permukaan *clarifier*, m²

2.9 Desinfeksi

Desinfeksi adalah proses pengrusakan/ penghancuran/ pembinasakan mikroorganisme pathogen. Untuk menentukan metode desinfeksi yang sesuai harus mempertimbangkan beberapa hal seperti kemudahan penanganan, kestabilan saat disimpan, toksik terhadap mikroorganisme, dan larut di air ataupun jaringan sel (Metcalf, 2014)

Beberapa jenis desinfektan terdiri dari klorin, ozon, radiasi UV, dan pasteurisasi. Setiap metode mempunyai kelebihan dan kekurangan yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

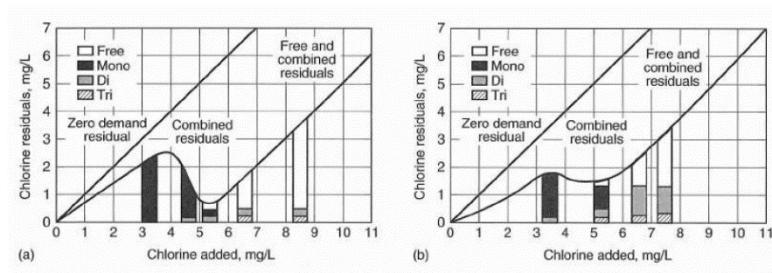
Tabel 2. 10 Perbandingan Teknologi Desinfeksi

Karakteristik	Gas klor	ClO ₂	Ozon	UV	Pasteurisasi
Biaya	Murah	Murah	Mahal	Mahal	Sedang
Kemampuan deodorisasi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	-	-
Interaksi dengan OC	Oksidasi	Oksidasi	Oksidasi	Absorpsi radiasi UV	-
Korosifitas	Tinggi	Tinggi	Tinggi	-	-
Toksistas selain MO	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Penetrasi partikel	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang	Tinggi
Kebutuhan pengamanan	Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah
Kelarutan	Sedang	Tinggi	Tinggi	Sedang	
Stabilitas	Stabil	Tak stabil	Tak stabil	-	-
Efektivitas untuk					
Bakteri	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	Baik	Sangat baik

Protozoa	Sedang – jelek	Baik	Baik	Sangat baik	Sangat baik
Virus	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	Baik	Baik
Meningkatkan TDS	Ya	Ya	Tidak	Tidak	tidak

(Sumber : Metcalf, 2014)

Breakpoint Chlorination (BPC) merupakan istilah yang digunakan pada proses dimana klorin ditambahkan dalam jumlah yang cukup untuk bereaksi dengan zat yang dapat teroksidasi, dan apabila ditambahkan klorin lagi maka klorin tersebut akan tetap menjadi klorin bebas, sehingga proses desinfeksi dapat terjadi (Metcalf, 2014). Adapun kurva residual dan dosis klorin terdapat pada gambar 2.8:



Gambar 2. 8 Kurva klorin residual dan dosis: (a) Air limbah dengan ammonia nitrogen, dan; (b) Air limbah dengan ammonia dan nitrogen organik
(Sumber : Metcalf, 2014)

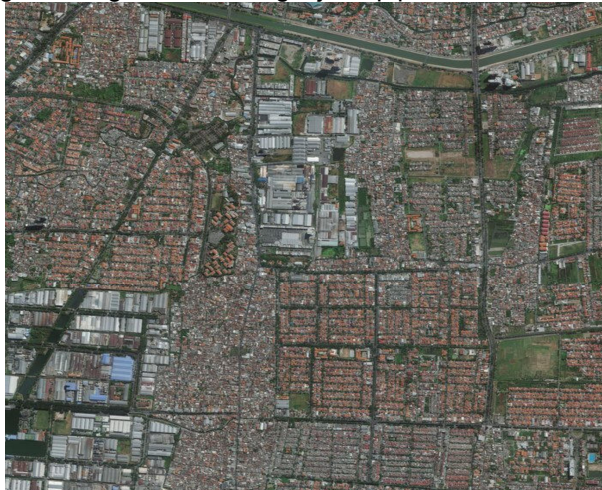
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

GAMBARAN UMUM

3.1 Gambaran Umum Wilayah Perencanaan

Kelurahan Kedung baru dan Kalirungkut merupakan wilayah yang terletak di kecamatan Rungkut, Kota Surabaya. Luas wilayah perencanaan yaitu $\pm 2,83 \text{ km}^2$. Beberapa pertimbangan untuk wilayah pelayanan yaitu jarak sumber air limbah ke IPAL, beserta jalan yang akan digunakan sebagai jalur pipa.



Gambar 3. 1 Citra Satelit Wilayah Perencanaan

3.2 Batas Administratif

Lokasi perencanaan berbatasan dengan :

- Sebelah Utara : Kelurahan Medokan Semampir
- Sebelah Timur : Kelurahan Penjaringan Sari
- Sebelah Selatan : Kelurahan Krembangan Selatan
- Sebelah Barat : Kelurahan Kali Rungkut

3.3 Topografi Wilayah

Secara umum kemiringan wilayah perencanaan lumayan kecil (hampir rata), dengan elevasi tanah tertinggi yaitu 4,27 mdpl dan elevasi tanah terendah yaitu 2,85 mdpl.

3.4 Hidrologi

Berdasarkan dokumen Rungkut Dalam Angka (BPS Surabaya, 2017), didapatkan data curah hujan per bulan pada tahun 2016, yaitu :

Tabel 3. 1 Jumlah Hari hujan dan curah hujan per bulan tahun 2016

Bulan	Hari Hujan (Hari)	Curah Hujan (mm)
Januari	14	284,1
Pebruari	27	409,3
Maret	16	163,1
April	15	129,6
April	15	129,6
Mei	21	358,8
Juni	15	126,8
Juli	15	90,1
Agustus	6	38,2
September	10	102,0
Oktober	15	161,5
Nopember	17	117,9
Desember	21	358,8
Rata-Rata	16	195,0

(Sumber : Kecamatan Rungkut Dalam Angka, 2017)

Didapatkan pada kedalaman (0,44 -5,48)m lapisan atas tanah pada Kecamatan Rungkut didominasi oleh selang seling lapisan *aquiver* asin dan payau. *Aquiver* produktif rendah sampai sedang (*aquiver* tawar) berupada pasir sisipan lempung, pasir, pasir sisipan kerikil. Diperkirakan *aquiver* berada di kedalaman mulai 25 hingga 100 meter (Bahri, 2012).

3.5 Penduduk

Jumlah penduduk pada kelurahan yang akan dilayani didapatkan pada dokumen Rungkut Dalam Angka (BPS Surabaya, 2017) mencapai 40.000 jiwa dengan perincian sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Luas Wilayah dan Jumlah Penduduk Hasil Registrasi Per Kelurahan Tahun 2016

Kelurahan	Luas wilayah (Km²)	Jumlah penduduk (Jiwa)	Kepadatan (Jiwa/Km²)
Kedung baruk	1,55	17.262	11.136,77
Kalirungkut	2,58	22.738	8.813,18
Jumlah	4,03	40.000	-

(Sumber : Kecamatan Rungkut Dalam Angka, 2017)

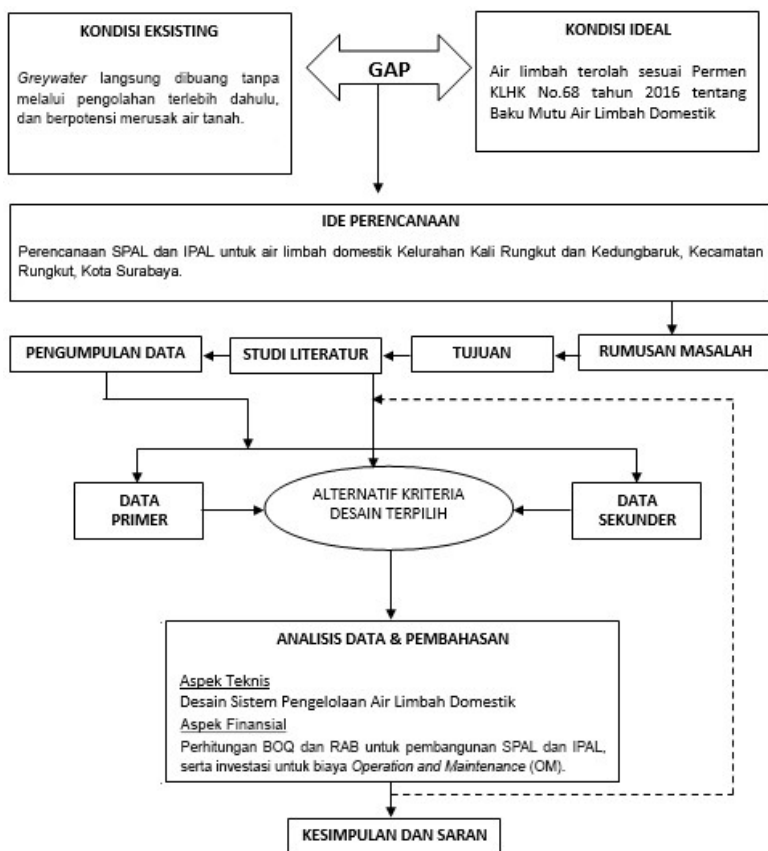
Namun demikian, kenyataan pada lapangan berbeda dengan data yang didapat. Banyaknya bangunan yang difungsikan sebagai kos – kosan membuat banyak pendatang musiman dari luar daerah Kecamatan Rungkut dan tidak melakukan pencatatan pada kantor lurah, sehingga jumlah penduduk lebih dari 40.000 jiwa dan kepadatan semakin tinggi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 METODE PERENCANAAN

4.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan digunakan sebagai pedoman dalam menjalankan perencanaan untuk menjawab tujuan yang diinginkan. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada bagan alir 4.1.



Gambar 4. 1 Kerangka Perencanaan

4.2 Tahapan Perencanaan

Dari kerangka perencanaan yang telah dirangkai, berikut ini adalah penjabaran untuk setiap langkah yang dilakukan dari awal hingga akhir, mulai dari mengidentifikasi masalah hingga menghasilkan kesimpulan melalui analisis data, pembahasan, dan hasil yang diperoleh:

4.2.1 Ide Perencanaan

Ide perencanaan diperoleh dari kondisi terkini di wilayah perencanaan, dimana *greywater* dibuang langsung ke drainase tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu, sedangkan menurut Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 12 tahun 2016 bahwa air limbah domestik harus diolah terlebih dahulu hingga memenuhi baku mutu agar tercapainya target pemerintah pada RPJMN 2015 – 2019 yaitu 100% masyarakat memiliki sanitasi layak.

4.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai landasan teori dalam melaksanakan perencanaan. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan data yang menunjang perencanaan. Literatur penunjang yang dibutuhkan pada perencanaan ini yaitu:

- a. Pengertian air limbah domestik
- b. Perhitungan debit air limbah
- c. Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) air limbah domestik
- d. Teknologi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang terkait
- e. Kriteria desain bangunan IPAL
- f. Baku mutu air limbah domestik

4.2.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan dalam desain untuk mendukung perencanaan yang dilakukan. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan sekunder. Selanjutnya akan dijelaskan tahapan pengumpulan data serta penjabaran data apa saja yang digunakan untuk menunjang perencanaan:

- a. Data karakteristik air limbah Kelurahan Kedung Baruk dan Kalirungkut meliputi TSS, BOD, COD, pH, Minyak dan lemak, NH_3 , Total *Coliform*, serta surfaktan.
- b. Data penggunaan air bersih dari perancangan terdahulu

- c. Baku mutu air limbah berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016
- d. Harga satuan pokok kegiatan berasal dari HSPK Kota Surabaya tahun 2018

4.2.4 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan deskriptif perencanaan yang dijelaskan secara mendalam dan ilmiah. Adapun tahapan pengolahan data yang dilakukan meliputi:

1. Memperkirakan debit air limbah domestik berdasarkan asumsi 80% air bersih dikonversikan menjadi air limbah.
2. Perancangan sistem penyaluran air limbah dengan riol kecil (*small bore sewer*) dengan ketentuan diameter minimum 100 mm dan tidak ada kecepatan minimum aliran.
3. Baku mutu effluen yang digunakan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik
4. Penentuan pemilihan alternatif berdasarkan aspek teknis (kemudahan pengoperasian, SDM, jumlah lumpur, biaya operasi, dan kualitas effluent)
5. Penetapan kriteria perencanaan untuk setiap unit operasi dan unit proses yang dipilih
6. Menetapkan dimensi awal unit IPAL untuk menyesuaikan dengan luasan lahan yang tersedia
7. Perhitungan dan gambar *Detailed Engineering Design* (DED) setiap unit yang akan digunakan, berikut dengan aksesoris dan profil hidrolis.
8. Menghitung biaya operasional dan perawatan dari setiap unit yang digunakan
9. Menghitung nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan DED, dan menggunakan HSPK kota Surabaya tahun 2018 sebagai acuan biaya
10. Menghitung biaya investasi proyek, beserta biaya pengembalian modal.

4.2.5 Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan merupakan ulasan dari data yang telah diolah sebelumnya. Hasil dan pembahasan dalam perencanaan ini meliputi:

1. BOQ dan RAB untuk SPAL
2. DED, BOQ dan RAB untuk IPAL
3. *Standard Operating Procedure* (SOP) beserta sistem tanggap darurat
4. Biaya investasi dan biaya pengembalian modal

4.2.6 Pembuatan Laporan

Merupakan penyusunan hasil perencanaan sesuai dengan studi literatur beserta data yang diolah dimulai dari awal hingga akhir perencanaan.

4.2.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dihasilkan setelah proses analisis data dan pembahasan yang telah dihubungkan dengan literatur yang ada beserta tujuan perencanaan ini. Selain itu, kesimpulan dapat menjadi landasan untuk pengambilan saran. Kesimpulan dari perencanaan ini meliputi:

1. Diameter pipa sistem penyaluran air limbah.
2. Desain unit IPAL yang digunakan.
3. Biaya investasi dan biaya pengembalian modal.

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Debit Dan Kualitas Air Limbah

Perhitungan debit dan kualitas air limbah merupakan hal dasar yang paling penting untuk mengetahui jenis unit proses dan unit operasi apa saja yang dibutuhkan, beserta model penyaluran air limbah yang cocok. Dengan adanya perhitungan awal ini, dapat diketahui kebutuhan lahan. Untuk konsumsi air bersih didapat dari data sekunder, sedangkan kualitas air limbah didapatkan dari data primer.

5.1.1 Perhitungan Debit Air Limbah

Debit air limbah didapatkan dari asumsi bahwa 80% penggunaan air bersih dikonversikan menjadi air limbah. Adapun penggunaan air bersih rata – rata pada kelurahan rungkut yaitu 174 L/OH. Kemudian, pada kawasan pemukiman terbangun, digunakan asumsi 5 orang per rumah (Dinas PU, 1996), sedangkan untuk kawasan tidak terbangun digunakan asumsi 8 orang per rumah. Kemudian dapat dihitung air limbah yang dihasilkan per rumah pada area terbangun dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Qrata rata air limbah} &= 80\% \times 174 \text{ L/OH} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{l} \times 5 \text{ O/rumah} \\ &= 0,696 \text{ m}^3/\text{rumah.H}\end{aligned}$$

Untuk kawasan tidak terbangun menggunakan cara yang sama dan didapatkan hasilnya yaitu 1,114 m³/rumah.H.

5.1.2 Kualitas dan Baku Mutu Air Limbah

Data kualitas air limbah didapatkan dari data primer, yaitu hasil dari pengambilan sampel di lapangan. Adapun dua sampel air limbah yang digunakan dan hasil uji laboratorium terdapat pada tabel 5.1. yaitu:

Tabel 5. 1 Kualitas Sampel

Parameter	Sampel 1	Sampel 2	Unit
TSS	152	140	mg/l
pH	8,3	7,3	
COD	386	326	mg/l
BOD	228	192	mg/l
Minyak & Lemak	18	16	mg/l
NH3	44,75	193,61	mg/l
TC	17×10^7	16×10^6	Jumlah/100 ml
Surfaktan	32,57	6,3	mg/l

(Sumber : Hasil Laboratorium)

Kemudian dari hasil diatas, untuk mencari nilai tiap parameter yang akan digunakan akan menggunakan persamaan

$$M1 \times V1 + M2 \times V2 = MC \times VC$$

Dari rumus tersebut akan diketahui berapa konsentrasi rata – rata untuk setiap parameter. Adapun konsentrasi rata rata yang akan digunakan untuk perencanaan terdapat pada tabel 5.2 :

Tabel 5. 2 Kualitas Air Limbah Pilihan

Parameter	Nilai	Unit
TSS	146	mg/l
pH	7,8	
COD	356	mg/l
BOD	210	mg/l
Minyak & Lemak	17	mg/l
NH3	119,18	mg/l
TC	$9,3 \times 10^6$	Jumlah/100 ml
Surfaktan	19,44	mg/l

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Adapun rasio BOD dan COD dari air limbah sampel yaitu 0,589, sehingga cocok untuk diolah secara biologis.

5.2 Perhitungan Sistem Penyaluran Air Limbah

Dalam pemilihan sistem penyaluran air limbah, diperhatikan mengenai apa saja yang akan dialirkan. Karena yang dialirkan yaitu *Greywater* dan *blackwater* bebas padatan, sehingga sistem penyaluran air limbah yang paling cocok yaitu *small bore sewer*. *Small bore sewer* merupakan sistem yang hemat biaya dengan kebutuhan pipa berdiameter kecil, sehingga dapat diterapkan pada negara berkembang. Beberapa faktor mendukung lainnya untuk penerapan sistem *small bore sewer* yaitu kepadatan penduduk yang tinggi, kemiringan tanah cenderung datar, beserta setiap rumah pada umumnya sudah memiliki tangki septik.

Peletakan pipa direncanakan pada salah satu sisi jalan agar menghemat biaya, mengurangi beban tegang yang disebabkan oleh gaya tekan jalan yang dilintasi oleh kendaraan bermotor, serta mempermudah perawatan dan perbaikan pipa. Pada perawatan pipa yang paling diperhatikan adalah sumbatan minyak dan lemak. Pembersihan antar pipa dilakukan melalui manhole yang jaraknya sudah ditetapkan berdasarkan diameter pipa. Adapun diameter pipa minimum yang telah ditetapkan oleh PUPR yaitu 100 mm. Meskipun begitu, pada sistem *small bore sewer* tidak ada diterapkan kecepatan minimum aliran, atau kecepatan *self-cleansing*. Hal ini dikarenakan hanya air limbah bebas padatan yang dialirkan, sehingga menutup kemungkinan adanya sumbatan pipa akibat padatan yang mengendap (selain minyak dan lemak).

5.2.1 Perhitungan Dimensi Pipa

Dimensi pipa yang akan digunakan dapat dicari menggunakan perkiraan beban yang akan dialirkan pada pipa tersebut. Karena pipa menggunakan prinsip pipa penuh, maka digunakan persamaan manning dalam mencari diameter beserta kecepatan pipa. Adapun pada perhitungan dimensi pipa beberapa faktor yang diperhatikan seperti

1. Bahan pipa yang digunakan adalah PVC
2. Kemiringan saluran diusahakan sesuai dengan kemiringan lahan

3. Koef. Manning yang digunakan ialah 0,011

Adapun persamaan yang digunakan dalam mencari beban debit suatu jalur pipa yaitu:

$$Q_{ave} = \frac{Q_w \times \text{Jumlah orang} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{l}}{86400 \text{ detik/hari}} \dots\dots\dots (5.1)$$

Keterangan

Q_{ave} = Debit beban jalur pipa (m^3/detik)

Q_w = Debit air limbah per orang (L/OH)

Jumlah orang = Jumlah orang yang dilayani (jiwa)

Setelah diadapatkan debit rata – rata, dicari debit puncak dengan cara pengalihan debit rata rata terhadap faktor puncak. Nilai faktor puncak diadaptasi menggunakan persamaan:

$$f_{Peak} = \frac{4,2}{p^{0,16}} \dots\dots\dots (5.2)$$

Keterangan

f_{peak} = faktor puncak

p = populasi (dalam ribuan)

Berikut merupakan contoh perhitungan beban debit pada jalur pipa:

- Diketahui saluran 4t1 – 4s1 melayani 11 KK, sehingga :
 Jumlah orang = jumlah KK \times asumsi jiwa per KK
 = 11 KK \times 5 orang/KK
 = 55 orang

$$\begin{aligned} Q_{ave} &= \frac{Q_w \times \text{Jumlah orang} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{l}}{86400 \text{ detik/hari}} \\ &= \frac{(174 \text{ l/OH} \times 80\%) \times 55 \text{ orang} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{l}}{86400 \text{ detik/hari}} \\ &= 0,000098 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Faktor puncak telah dihitung menggunakan persamaan, dan didapatkan nilai f_p yaitu 1,1087. Sehingga dapat dicari debit puncak

$$\begin{aligned} Q_{puncak} &= Q_{ave} \times f_p \\ &= 0,000098 \text{ m}^3/\text{detik} \times 2,7621 \end{aligned}$$

Untuk contoh tabel perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.3 berikut ini:

Tabel 5. 3 Contoh Spreadsheet Perhitungan Beban Pipa

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah	Q min	Qpeak
		m3/s	m3/s	m3/s
4t1 - 4s1	11	0,00009	0,00001	0,00024
4t2 - 4s1	16	0,00013	0,00002	0,00036
4t3 - 4t5	4	0,00003	0,00000	0,00009
4t4 - 4t5	13	0,00010	0,00001	0,00029
4t6 - 4t7	12	0,00010	0,00001	0,00027
4t8 - 4t9	15	0,00012	0,00001	0,00033
4t5 - 4t7	21	0,00017	0,00002	0,00047
4t7 - 4t9	34	0,00027	0,00004	0,00076
4t9 - 4s2	53	0,00043	0,00007	0,00118
4t10 - 4t23	14	0,00011	0,00001	0,00031
4t11 - 4t11b	5	0,00004	0,00000	0,00011
4t12 - 4t11b	28	0,00023	0,00003	0,00062
4t14 - 4t15	22	0,00018	0,00002	0,00049
4t16 - 4t17	28	0,00023	0,00003	0,00062
4t18 - 4t19	29	0,00023	0,00003	0,00065
4t13 - 4t21	14	0,00011	0,00001	0,00031
4t20 - 4t21	9	0,00007	0,00001	0,00020
4t21 - 4t22	37	0,00030	0,00004	0,00082
4t11b - 4t15	35	0,00028	0,00004	0,00078
4t15 - 4t17	59	0,00048	0,00007	0,00131
4t17 - 4t19	89	0,00072	0,00012	0,00198
4t19 - 4t22	118	0,00095	0,00017	0,00263
4t22 - 4t23	155	0,00125	0,00024	0,00345
4t23 - 4t25	169	0,00136	0,00026	0,00376

Dengan penentuan nilai d/D pipa yaitu 0,8; sehingga bisa didapatkan rasio debit puncak per debit penuh, yaitu 0,975. Sehingga didapatkan persamaan untuk mencari debit penuh yaitu:

$$Q_{\text{penuh}} = \frac{Q_{\text{puncak}}}{0,975} \dots\dots\dots (5.3)$$

Keterangan

Q_{penuh} = Debit pipa penuh (m^3/detik)

Q_{puncak} = Debit puncak (m^3/detik)

Setelah didapatkan debit penuh, tahapan berikutnya adalah menentukan kemiringan pipa (m/m). Adapun kemiringan pipa ditentukan dengan acuan kemiringan tanah yang ada. Setelah itu dihitung diameter teoritis yang dibutuhkan untuk mengalirkan air limbah. Persamaan yang dapat digunakan yaitu:

$$D_{\text{teoritis}} = \frac{1,5845 (nQ_F)^{2/3}}{S^{3/16}} \dots\dots\dots (5.4)$$

Keterangan :

D = Diameter pipa (mm)

n = Koef. Kekasaran Manning

Q_F = Q_{full} (m^3/detik)

S = Kemiringan, (m/m)

Diameter teoritis yang telah didapat akan digunakan sebagai referensi dalam pemilihan diameter pipa yang akan digunakan. Adapun pemilihan diameter pipa berdasarkan ukuran pipa yang tersedia di pasaran, sehingga memudahkan dalam pencarian. Diameter pipa pemilihan haruslah lebih besar diameternya daripada diameter teoritis, dan tidak memiliki perbedaan diameter terlalu jauh. Setelah didapatkan diameter yang akan digunakan, berikutnya dihitung kecepatan pipa. Kecepatan pipa dianjurkan dibawah $3 \text{ m}^3/\text{detik}$ agar menjaga umur pemakaian pipa (sisi dalam pipa tidak tergerus). Adapun persamaan yang digunakan yaitu:

$$v = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots (5.5)$$

Keterangan :

v = Kecepatan aliran (m/s)

n = Koef. Kekasaran Manning

R = Jari jari hidraulik (m)

S = Kemiringan, (m/m)

Berikut merupakan contoh perhitungan diameter jalur pipa:

- Q_{puncak} pada saluran 4t1 – 4s1 adalah 0,00024 m^3/detik , sehingga:

$$\begin{aligned} Q_{\text{penuh}} &= \frac{Q_{\text{puncak}}}{0,975} \\ &= \frac{0,00024 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,975} \\ &= 0,00025 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$D_{\text{teoritis}} = \frac{1,5845 (nQ_F)^{2/3}}{S^{3/16}}$$

Karena menggunakan pipa PVC, nilai n ditetapkan menjadi 0,011. Slope yang digunakan yaitu 0,001

$$\begin{aligned} D_{\text{teoritis}} &= \frac{1,5845 (0,011 \times 0,0001 \text{ m}^3/\text{s})^{2/3}}{0,001^{3/16}} \\ &= 33,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena diameter minimal yaitu 100 mm, maka digunakan pipa dengan diameter dalam sebesar 101,6 mm. Kemudian untuk memastikan kecepatan pada pipa tidak terlalu besar, maka dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned} v &= \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \\ v &= \frac{(0,1016 \text{ m}/4)^{2/3} \times 0,001^{1/2}}{0,011} \\ &= 0,248 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Untuk contoh tabel perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 5. 4 Contoh Spreadsheet Perhitungan Dimensi Pipa

No Saluran	L Pipa (m)	Qfull (m^3/s)	D _{teoritis} mm	D _{apply} mm	Kecepatan m/s
4t1 - 4s1	239,97	0,0001	33,05	101,6	0,25
4t2 - 4s1	179,99	0,00015	38,03	101,6	0,25
4t3 - 4t5	43,28	0,00004	22,61	101,6	0,25
4t4 - 4t5	116,74	0,00012	35,18	101,6	0,25
4t6 - 4t7	115,52	0,00011	34,14	101,6	0,25

No Saluran	L Pipa (m)	Qfull (m ³ /s)	D _{teoritis} mm	D _{apply} mm	Kecepatan m/s
4t8 - 4t9	118,28	0,00014	37,12	101,6	0,25
4t5 - 4t7	54,27	0,00019	42,11	101,6	0,25
4t7 - 4t9	54,23	0,00031	50,45	101,6	0,25
4t9 - 4s2	63,642	0,00049	59,59	101,6	0,25
4t10 - 4t23	214,57	0,00013	36,17	101,6	0,25
4t11 - 4t11b	36,33	0,00005	24,59	101,6	0,25
4t12 - 4t11b	230,66	0,00026	46,91	101,6	0,25
4t14 - 4t15	226,28	0,00020	42,86	101,6	0,25
4t16 - 4t17	225,56	0,00026	46,91	101,6	0,25
4t18 - 4t19	226,95	0,00027	47,53	101,6	0,25
4t13 - 4t21	237,13	0,00013	36,17	101,6	0,25
4t20 - 4t21	211,48	0,00008	30,65	101,6	0,25
4t21 - 4t22	237,09	0,00034	52,08	101,6	0,25
4t11b - 4t15	54,45	0,00032	51,01	101,6	0,25
4t15 - 4t17	51,42	0,00054	62,04	101,6	0,25
4t17 - 4t19	53,98	0,00082	72,38	101,6	0,25
4t19 - 4t22	52,26	0,00108	80,45	101,6	0,25
4t22 - 4t23	55,19	0,00142	89,12	101,6	0,25
4t23 - 4t25	81,84	0,00155	92,06	101,6	0,25

(Sumber : Hasil perhitungan)

Adapun diameter pipa yang digunakan merupakan diameter dalam pipa seri S-12.5 dengan tekanan 8 Kg/cm² sesuai dengan standar SNI 0048-89-A/SII-0344-82. Setelah didapatkan diameter pipa, maka dapat dihitung kedalaman penanaman. Kedalaman penanaman ditentukan oleh *headloss* dari pipa, yang diformulasikan dengan

$$\text{Headloss} = L \times \text{Slope} \dots\dots\dots (5.6)$$

Dimana

Headloss = Kehilangan muka air (m)

L = Panjang pipa (m)

Slope = Kemiringan pipa (m/m)

Hal lain yang diperhatikan untuk menghitung kedalaman penanaman pipa yaitu elevasi awal bagian atas pipa, elevasi awal bagian bawah pipa, elevasi akhir bagian atas pipa, dan elevasi akhir bagian bawah pipa. Persamaan setiap data yang dibutuhkan yaitu:

$$E_{AwBP} = E_{MAw} - 1 \text{ m} - D \dots\dots\dots (5.7)$$

Dimana

E_{AwBP} = Elevasi awal bawah pipa (mdpl)

D = diameter pipa (m)

E_{MAw} = Elevasi medan awal pipa (mdpl)

$$E_{AwAP} = E_{ABP} + D \dots\dots\dots (5.8)$$

Dimana

E_{AwAP} = Elevasi awal atas pipa (mdpl)

D = diameter pipa (m)

E_{ABP} = Elevasi awal bawah pipa (mdpl)

$$E_{AkBP} = E_{AwBP} - \text{Headloss} \dots\dots\dots (5.9)$$

Dimana

E_{AkBP} = Elevasi akhir bawah pipa (mdpl)

E_{AwBP} = Elevasi awal bawah pipa (mdpl)

Headloss = Kehilangan muka air (m)

$$E_{AkAP} = E_{AkBP} + D \dots\dots\dots (5.10)$$

Dimana

E_{AkAP} = Elevasi akhir atas pipa (mdpl)

E_{AkBP} = Elevasi akhir bawah pipa (mdpl)

D = diameter pipa (m)

$$KPA_w = E_{MAw} - E_{AwBP} \dots\dots\dots (5.11)$$

Dimana

KPA_w = Kedalaman penanaman awal (m)

E_{MAw} = Elevasi medan awal (mdpl)

E_{AwBP} = Elevasi awal bawah pipa (mdpl)

$$KPA_k = E_{MAk} - E_{AkBP} \dots\dots\dots (5.12)$$

Dimana

KPA_k = Kedalaman penanaman akhir (m)

E_{MAk} = Elevasi medan akhir (mdpl)

E_{AkBP} = Elevasi awal bawah pipa (mdpl)

Untuk contoh tabel perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut ini:

Tabel 5. 5 Contoh Spreadsheet Perhitungan Kedalaman Penanaman

No Saluran	L Pipa	Headloss	Elevasi pipa awal		Elevasi pipa akhir		Kedalaman Penanaman	
	(m)	m	bawah	atas	bawah	atas	Awal	Akhir
4t1 - 4s1	239,97	0,2400	2,98	3,09	2,74	2,85	1,110	1,350
4t2 - 4s1	179,99	0,1800	2,98	3,09	2,80	2,91	1,110	1,290
4t3 - 4t5	43,28	0,0433	2,98	3,09	2,94	3,05	1,110	1,153
4t4 - 4t5	116,74	0,1167	2,98	3,09	2,86	2,97	1,110	1,227
4t6 - 4t7	115,52	0,1155	2,98	3,09	2,86	2,97	1,110	1,226
4t8 - 4t9	118,28	0,1183	2,98	3,09	2,86	2,97	1,110	1,228
4t5 - 4t7	54,27	0,0543	2,98	3,09	2,93	3,04	1,110	1,164
4t7 - 4t9	54,23	0,0542	2,98	3,09	2,93	3,04	1,110	1,164
4t9 - 4s2	63,642	0,0636	2,98	3,09	2,92	3,03	1,110	1,174
4t10 - 4t23	214,57	0,2146	2,98	3,09	2,77	2,88	1,110	1,325
4t11 - 4t11b	36,33	0,0363	2,98	3,09	2,94	3,05	1,110	1,146
4t12 - 4t11b	230,66	0,2307	2,98	3,09	2,75	2,86	1,110	1,341
4t14 - 4t15	226,28	0,2263	2,98	3,09	2,75	2,86	1,110	1,336
4t16 - 4t17	225,56	0,2256	2,98	3,09	2,75	2,86	1,110	1,336
4t18 - 4t19	226,95	0,2270	2,98	3,09	2,75	2,86	1,110	1,337
4t13 - 4t21	237,13	0,2371	2,98	3,09	2,74	2,85	1,110	1,347
4t20 - 4t21	211,48	0,2115	2,98	3,09	2,77	2,88	1,110	1,321
4t21 - 4t22	237,09	0,2371	2,98	3,09	2,74	2,85	1,110	1,347
4t11b - 4t15	54,45	0,0545	2,98	3,09	2,93	3,04	1,110	1,164
4t15 - 4t17	51,42	0,0514	2,98	3,09	2,93	3,04	1,110	1,161
4t17 - 4t19	53,98	0,0540	2,98	3,09	2,93	3,04	1,110	1,164

(Sumber : Hasil Perhitungan)

5.2.2 Perhitungan Kebutuhan *Manhole*

Manhole pada SPAL dibutuhkan sebagai titik pantau dan titik perawatan saluran. Pada perencanaan terdapat 4 jenis *manhole* yang akan dipakai, yaitu *manhole* lurus, belokan, pertigaan, dan *drop*. Pada *manhole* lurus, jarak antara *manhole* ditentukan oleh diameter pipa. Semakin besar diameter pipa yang digunakan, maka semakin jauh jarak antar *manhole*. *Manhole drop* digunakan apabila terdapat perbedaan elevasi $\geq 0,6$ m. Terdapat dua jenis *drop manhole* yang sering digunakan, yaitu tipe pipa 90° dan tipe pipa 45°.

Untuk contoh tabel penentuan *manhole* terdapat pada tabel 5.6 berikut ini:

Tabel 5. 6 Contoh Spreadsheet perhitungan *manhole*

No Saluran	Jarak / Manhole	L	Jumlah Manhole				Total
	m	m	A	B	C	D	
4t1 - 4s1	50	239,97	5	1	0	0	6
4t2 - 4s1	50	179,99	4	0	0	0	4
4t3 - 4t5	50	43,28	1	0	0	0	1
4t4 - 4t5	50	116,74	3	0	0	0	3
4t6 - 4t7	50	115,52	3	0	0	0	3
4t8 - 4t9	50	118,28	3	0	0	0	3
4t5 - 4t7	50	54,27	2	0	0	0	2
4t7 - 4t9	50	54,23	2	0	0	0	2
4t9 - 4s2	50	63,642	2	0	0	0	2
4t10 - 4t23	50	214,57	5	0	0	0	5
4t11 - 4t11b	50	36,33	1	0	0	0	1
4t12 - 4t11b	50	230,66	5	0	0	0	5
4t14 - 4t15	50	226,28	5	0	0	0	5
4t16 - 4t17	50	225,56	5	0	0	0	5

Ket : A *Manhole* lurus; B *Manhole* belokan ; C *Manhole* pertigaan ; D *Drop Manhole*

5.2.3 Perhitungan Kebutuhan Siphon

Penggunaan *Siphon* pada perencanaan ini disebabkan adanya jalur pipa yang harus melewati sungai. Pada desain siphon diharuskan terdapat 3 pipa dengan kondisi debit tertentu, dan kecepatan pengaliran diatas 1 m/detik.

Tabel 5. 7 Profil Pipa Dengan Siphon

Jalur	Jenis	Q rata-rata (m ³ /s)	Qpeak (m ³ /s)	Q min (m ³ /s)
4s3	Drainase	0,002871111	0,003183	0,000607009
4s4	Drainase	0,003161111	0,003505	0,000685627
4s5	Drainase	0,004772222	0,005291	0,001146407
4s6	Drainase	0,004941389	0,005479	0,001196852
3s3	Drainase	0,002918889	0,003236	0,000612362
3s4	Drainase	0,003813056	0,004228	0,000857267
3s5	Drainase	0,005008704	0,005553	0,001204656

Tabel 5. 8 Perhitungan Pipa Siphon

Jalur Pipa	Jenis Q	Q	Diameter Teoritis	Diameter Pasar	Vcek
		(m ³ /s)	mm	mm	m/s
4s3	Qmin	0,001	27,808	36,8	0,571
	Qrata-rata	0,003	53,705	58,2	0,851
	Qpeak	0,003	19,942	36,8	0,294
4s4	Qmin	0,001	29,554	36,8	0,645
	Qrata-rata	0,003	56,156	58,2	0,931
	Qpeak	0,004	20,925	36,8	0,323
4s5	Qmin	0,001	38,215	46	0,690
	Qrata-rata	0,005	67,962	69,2	0,965
	Qpeak	0,005	25,710	36,8	0,488
4s6	Qmin	0,001	39,047	46	0,721
	Qrata-rata	0,005	69,066	69,2	0,996

3s3	Qpeak	0,005	26,162	36,8	0,505
	Qmin	0,001	27,930	36,8	0,576
	Qrata-rata	0,003	54,206	58,2	0,867
3s4	Qpeak	0,003	20,107	36,8	0,299
	Qmin	0,001	33,046	36,8	0,806
	Qrata-rata	0,004	61,362	69,2	0,786
3s5	Qpeak	0,004	22,981	36,8	0,390
	Qmin	0,001	39,174	46	0,725
	Qrata-rata	0,005	69,613	83	0,703
	Qpeak	0,006	26,339	36,8	0,512

5.3 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Untuk menentukan alternatif pengolahan yang akan dipilih, terlebih dahulu dihitung persentase keefektifan pada setiap unit agar effluen dari unit terakhir dapat memenuhi baku mutu dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.68 Tahun 2016. Pengolahan air limbah di bagi ke dalam beberapa tahap yaitu, pengolahan fisik, pengolahan biologi, dan pengolahan lumpur. Terdapat 3 alternatif pengolahan yang dapat digunakan dalam proses pengolahan air limbah, namun akan digunakan satu alternatif pengolahan yang paling baik dari segi teknis maupun non teknis. Aspek teknis yang dimaksud ialah kemudahan pengoperasian, SDM, jumlah lumpur, biaya operasi, dan kualitas effluent. Aspek non teknis yang dimaksud adalah ketersediaan lahan, serta biaya konstruksi yang dikeluarkan.

5.3.1 Penilaian Pemilihan alternatif

Efisiensi removal alternatif merupakan hal yang paling pertama dalam penentuan pemilihan alternatif. Adapun data mengenai efisiensi removal tiap unit pengolahan yaitu:

Tabel 5. 9 Efisiensi Removal Unit Pengolahan

Proses Pengolahan	Efisiensi Removal (%)				
	BOD	COD	TSS	N	P
Sumur Pengumpul^a	-	-	-	-	-
Bar Screen^a	-	-	-	-	-
Grit Chamber	0-5 ^a	0-5 ^a	0-10 ^a	-	-
Bak Equalisasi	-	-	-	-	-
Sedimentasi I	30-40 ^b	30-40 ^b	50-65 ^b	10-20 ^b	10-20 ^b
Oxidation Ditch	80-95 ^b	80-90 ^b	70-90 ^b	75-85 ^b	-
Trickling Filter	60-80 ^b	60-80 ^b	60-85 ^b	15-50 ^b	8-12 ^b
SBR	89-98 ^d	96 ^c	85-87 ^d	87 ^c	90 ^c
MBBR	90-95			90	-
Nitrifikasi	80-95 ^b	80-90 ^b	70-90 ^b	75-85 ^b	-
Aeration Tank	75-95 ^e	80-85 ^e	80-90 ^e	15-50 ^e	10-25 ^e

Sumber : ^aMetcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse Third Edition, 1991

^bQasim, Wastewater Treatment Unit Operations and Processes, 1985

^cKargi, F. Hydraulic Residence Time Effects In Biological Nutrient Removal Using Five-Step Sequencing Batch Reactor, Journal Volume 35, 2004

^dUS-EPA. Sequencing Batch Reactors For Nitrification and Nutrient Removal, 1992

^eMetcalf and Eddy, Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater, 1981

Terdapat 3 pengolahan sekunder yang dipilih yaitu *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), *Sequencing Batch Reactor* (SBR), dan Tangki aerasi. Berikut perhitungan effluen yang akan dihasilkan oleh masing masing alternatif

a. Alternatif 1

Tabel 5. 10 Perhitungan Kualitas Effluen MBBR

Parameter	Inlet	Unit	MBBR	
			Removal	Eff
TSS	146	mg/L	80%	14,6
COD	356	mg/L	90%	24,92
BOD	210	mg/L	90%	14,7
Minyak & Lemak	3,4	mg/L		3,4
NH3	199	mg/L	90%	10,73
TC	9,E+06	jlh/100 mL		9,E+06

b. Alternatif 2

Tabel 5. 11 Perhitungan Kualitas Effluen Tangki Aerasi

Parameter	Inlet	Unit	TA	
			Removal	Eff
TSS	146	mg/L	80%	14,6
COD	356	mg/L	80%	49,84
BOD	210	mg/L	80%	29,4
Minyak & Lemak	3,4	mg/L		
N	199	mg/L	15%	152,24
TC	9,E+06	jlh/100 mL		

c. Alternatif 3

Tabel 5. 12 Perhitungan Kualitas Effluen Sequencing Batch Reactor (SBR)

Parameter	Inlet	Unit	SBR	
			Removal	Eff
TSS	146	mg/L	85%	10,95
COD	356	mg/L	96%	9,97
BOD	210	mg/L	89%	16,17
Minyak & Lemak	3,4	mg/L		
NH3	199	mg/L	87%	23,28
TC	9,E+06	jlh/100 mL		

(Sumber : Hasil perhitungan)

Ketiga alternatif diatas menggunakan pengolahan primer yang serupa, yaitu bak pengendap 1. Direncanakan bahwa setiap rumah memiliki *interceptor* masing – masing, sehingga konsentrasi minyak dan lemak dapat menurun hingga 80%. Dari seluruh alternatif yang diajukan, hanya MBBR serta SBR yang berdasarkan kriteria mampu menurunkan ammonia secara signifikan. Adapun analisa *Life Cycle Cost* (LCC) digunakan untuk membandingkan antara SBR dan MBBR terdapat pada tabel 5.11:

Tabel 5. 13 Analisa LCC SBR dan MBBR

Aspek	Unit	SBR	MBBR
Kebutuhan lahan rata rata	Acres/MLD	0,13	0,13
Biaya Modal	Crores/MLD	0,7	0,21
Biaya energi tahunan	Crores/MLD	0,0312	0,019
Biaya OM Tahunan (Biaya perbaikan, tenaga kerja,dll)	Crores/MLD	0,6	0,6
Total biaya OM tahunan	Crores/MLD	0,63	0,6

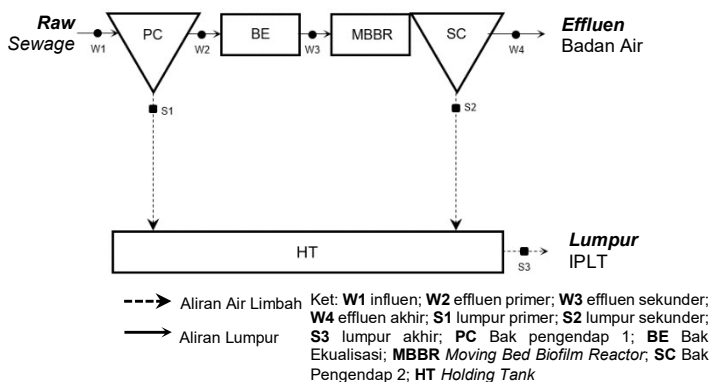
Aspek	Unit	SBR	MBBR
Harga tanah per acre rerata	Crores	11	11
Biaya pembebasan lahan	Crores/MLD	1,43	1,43
Unit Capital Cost termasuk lahan	Crores/MLD	2,13	1,64
Durasi ekonomis	Tahun	30	30
Capitar Recovery Factor (CRF)		0,124	0,124
Total biaya tahunan	Crores/MLD	0,89	0,89
Life Cycle Cost	Crores/MLD	7,17	6,44

Sumber : Koul, Abhishek. *Comparative Evaluation of Sewage Treatment Plants : A Novel Approach*, 2015

Kesimpulan yang didapat dari penilaian yang dilakukan yaitu MBBR merupakan alternatif pengolahan yang paling ideal, dengan nilai LCC yang lebih rendah daripada SBR, serta performa penurunan ammonia yang lebih signifikan agar memenuhi baku mutu yang berlaku.

5.3.2 Diagram Alir Pengolahan

Alur pengolahan air limbah yang direncanakan terdapat pada bagan alir dibawah ini:



Gambar 5. 1 Bagan Alir Proses Pengolahan

5.3.3 Detailed Engineering Design (DED)

Tahapan *Detailed Engineering Design* (DED) bertujuan untuk menentukan luas serta dimensi dari tiap unit pengolahan air limbah. Berikut adalah data pendukung sebelum melakukan perhitungan:

Tabel 5. 14 Data Debit

Aspek	Nilai	Satuan
Q _{ratarata}	0,027	m ³ /detik
Q _{puncak}	0,030	m ³ /detik
Q _{minimum}	0,009	m ³ /detik

5.3.3.1 Sumur Pengumpul

Dalam penentuan ukuran sumur pengumpul, hanya ada satu faktor yang harus diperhatikan yaitu waktu detensi (td). Untuk sumur pengumpul dianjurkan waktu detensi dibawah 10 menit agar tidak terjadinya sedimentasi pada unit (Qasim, 1986). Direncanakan jumlah sumur pengumpul yaitu satu unit dengan bentuk persegi.

1. Jumlah = 1 bak
2. Debit rencana (Q_{puncak}) = 0,03 m³/hari
3. Waktu detensi (td) = 300 detik
4. Volume sumur = Q_{peak} x td
= 0,03 m³/s x 300 detik
= 9 m³
5. Rencana ketinggian air (h) = 2 m
6. A_{surface} = (volume sumur)/h
= (9m³)/(5 m)
= 4,5 m²
7. Asumsi panjang : lebar = 1 : 1
8. Lebar sumur = $\sqrt{A_s}$
= $\sqrt{4,5 \text{ m}^2}$ = 2,12m \approx 2,2m
9. Panjang sumur = 2,2 m
10. Lahan SP = p x l x n bak
= 2,12 m x 2,12 m x 1
= 4,5 m²

- 11. Freeboard = 0,5 m
- 12. Kedalaman total SP = 2 m + 0,5 m + 3,79 m
= 6,29 m \approx 6,3 m

a. Saluran pembawa ke Bak Pengendap

Direncanakan :

- Saluran tipe *open channel* dengan penampang ekonomis ($b = 2h$)
- Bahan saluran terbuat dari beton ($n = 0,015$)
- Jumlah saluran pembawa = 1 buah
- Panjang saluran pembawa = 2 m
- Kecepatan aliran (v) = 1 m/detik

Perhitungan :

- Pada saat Q peak

$$A = \frac{Q_{\text{peak}}}{v} = \frac{0,03 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/detik}} = 0,02 \text{ m}^2$$

- Cek V pada saat Qmin

$$V = \frac{Q_{\text{min}}}{A} = \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,02 \text{ m}^2} = 0,45 \text{ m/detik}$$

- Maka dimensi saluran :

$$\begin{aligned} A_{\text{cross}} &= L \times H \\ &= 2H \times H \\ 0,02 \text{ m}^2 &= 2H^2 \\ H &= 0,1 \text{ m} \\ L &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga dimensi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panjang (P)} &= 5 \text{ m} \\ \text{Tinggi (H)} &= 0,1 \text{ m} + 0,1 \text{ m (freeboard)} = 0,2 \text{ m} \\ \text{Lebar (L)} &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

- Jari-jari Hidrolis Saluran

$$\begin{aligned} R &= \frac{A_{\text{cross}}}{(L+2H)} \\ &= \frac{0,02 \text{ m}^2}{(0,2 \text{ m} + (2 \times 0,1 \text{ m}))} = 0,05 \text{ m} \end{aligned}$$

- Kehilangan tekanan

$$\begin{aligned} H_f &= [n \cdot v / R^{(2/3)}]^2 \times P \\ &= \{[0,015 \times 1] / [0,05^{(2/3)}]\}^2 \times 5 \text{ m} \\ &= 0,06 \text{ m} \end{aligned}$$

$$H_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss Total} &= H_v + H_f \\
 &= 0,05 \text{ m} + 0,06 \text{ m} = 0,11 \text{ m} \\
 \bullet \text{ Slope (S)} &= hf/L \\
 &= 0,01 \text{ m} / 5 \text{ m} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

b. Pompa

Pada sumur pengumpul digunakan pompa *submersible* untuk menaikkan muka air. Jumlah pompa yang digunakan yaitu 2 unit (1 aktif, 1 *idle*). Adapun perhitungan untuk

• Pipa penguras

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 - A &= \frac{Q}{V} = \frac{0,03}{1} = 0,03 \text{ m}^2 \\
 - D_{\text{teoritis}} &= \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,03 \times 4}{\pi}} \\
 &= 0,19 \text{ m} = 190 \text{ mm} \\
 - D_{\text{terapan}} &= 207,8 \text{ (PVC 12,5)} \\
 - V_{\text{pipa}} &= \frac{4Q}{\pi d^2} \\
 &= \frac{0,03 \times 4}{\pi \times (0,2078 \text{ m})^2} \\
 &= 0,885 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

• Pompa penguras r

Ketentuan :

$$\begin{aligned}
 - \text{Debit} &= 0,03 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 - v_{\text{pipa}} &= 0,885 \text{ m/detik} \\
 - H_{f_{\text{suction}}} &= \left[\frac{Q}{0,001555 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \\
 &= \left[\frac{30 \text{ L/detik}}{0,001555 \times 150 \times 20,78^{2,63}} \right]^{1,85} \times 5 \text{ m} \\
 &= 0,022 \text{ m} \\
 &= \left[\frac{9,3 \text{ L/detik}}{0,001555 \times 150 \times 12,92^{2,63}} \right]^{1,85} \times 6 \text{ m} \\
 &= 0,0155 \text{ m} \\
 - H_f \text{ aksesoris} &= 0,01 \text{ m} \\
 - H_v \text{ suction} &= \frac{v^2}{2g} = 0,039 \text{ m} \\
 - H_f \text{ total} &= (0,155 + 0,01 + 0,039) \text{ m} \\
 &= 0,204 \text{ m} \\
 - \text{Head total} &= 5 + 0,204 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$= 6,128 \text{ m}$$

Daya pompa yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (efisiensi 70%):

$$\begin{aligned} \text{- Power pompa} &= \frac{g \times Q \times H_f \times \text{densitas}}{70\%} \\ &= \frac{9,81 \times 0,003 \text{ m}^3/\text{detik} \times 6,128 \text{ m} \times 1000}{70\%} \\ &= 257,64 \text{ Watt} \\ &= 0,258 \text{ kW} \end{aligned}$$

5.3.3.2 Bak Pengendap 1

Prinsip dari bak pengendapan pertama (primary sedimentation) ini adalah memisahkan padatan tersuspensi dalam air buangan dengan cara gravitasi. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur kecepatan pengendapannya. Dua sasaran pengendapan dalam air limbah adalah klarifikasi dan penebalan lumpur.

Kriteria desain:

- Waktu detensi (td) = 1,5 – 2,5 jam
- OFR = 30 – 50 m³/m².day
- WLR = 125 – 500 m³/m².day atau
Q < 44 L/s = 124 , Q > 44 L/s = 186
- H = 3 – 4,9 m
- P = 15 – 90 m
- L = 3 – 24 m

Direncanakan :

- Jumlah bak = 2 buah
- Q_{puncak} = 0,030 m³/s (0,015 m³/s per bak)
- Q_{ratarata} = 0,027 m³/s
- % BOD = 30%
- % TSS = 50%
- P_{solid} = 1,25 gr/cm³
- p_{air} = 1 gr/cm³
- T = 28° C
- Viskositas kinematis (ν) = 0,8394 x 10⁻⁶ m²/detik
- Viskositas absolut (μ) = 0,8363 x 10⁻³ N.det/m²
- Densitas (γ) = 0,99626 gr/cm³

Perhitungan :

c. Zona Pengendapan

- T_d
- $\% R_{BOD} = \frac{t_d}{a+b \cdot t_d}$
- $30\% = \frac{t_d}{0,018+0,02 \cdot t_d}$
- $t_d = 1,35 \text{ jam}$
- $\% R_{TSS} = \frac{t_d}{a+b \cdot t_d}$
- $50\% = \frac{t_d}{0,0075+0,014 \cdot t_d}$
- $t_d = 1,25 \text{ jam}$

waktu detensi hasil perhitungan untuk menurunkan kadar BOD dan TSS tidak ada yang memenuhi kriteria desain, maka ditetapkan $t_d = 2,5 \text{ jam}$ dan dihitung kembali %removalnya

- $\% R_{BOD} = \frac{t_d}{a+b \cdot t_d} = \frac{2,5}{0,018+0,02 \cdot 2,5} = 36,76\%$
- $\% R_{TSS} = \frac{t_d}{a+b \cdot t_d} = \frac{2,5}{0,0075+0,014 \cdot 2,5} = 58,82\%$
- $[TSS]_{\text{effluent}} = (100\% - \% \text{removal TSS}) \times [TSS]$
 $= 58,82\% \times 146 \text{ mg/l}$
 $= 60,12 \text{ mg/l}$
- $[BOD]_{\text{effluent}} = (100\% - \% \text{removal BOD}) \times [BOD]$
 $= 63,24\% \times 210 \text{ mg/l}$
 $= 132,8 \text{ mg/l}$
- $A_{\text{surface}} = \frac{Q}{OFR} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \text{ s/hari}}{30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}} = 43,2 \text{ m}^2$
- Jika P:L = 5:1, maka
- As = $5L^2$
- $43,2 \text{ m}^2 = 5L^2$
- $L = \sqrt{\frac{43,2 \text{ m}^2}{5}} = 2,94 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$
- P = $5 \times L = 5 \times 3 \text{ m}$

- Volume bak = 15 m
 = Q tiap bak x td
 = 0,015 m³/s x 2,5 jam x 3600
 = 135 m³
- Kedalaman bak = $\frac{V}{A_s} = \frac{81 \text{ m}^3}{43,2 \text{ m}^2}$
 = 3,125 m
- ❖ Cek *scouring*
 Cek *scouring* digunakan untuk memperkirakan apakah akan terjadi penggerusan terhadap partikel, dan bergantung pada besaran kecepatan scouring dan kecepatan horizontal.
- 1) Kecepatan pengendapan (v_s) = $\frac{Q}{A_s} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{43,2 \text{ m}^2}$
 = 0,000347 m/s
- 2) Diameter partikep (d_p) = $\sqrt{\frac{18 \times v_s \times v}{g \times (S_g - 1)}}$
 = $\sqrt{\frac{18 \times 0,000347 \text{ m/s} \times 0,8394 \times 10^{-6}}{9,81 \times (1,02 - 1)}}$
 = 0,00016 m
- 3) Kecepatan scouring (v_{sc}) = $\left[\frac{8k(\text{psolid-pair}) \times g \times d_p}{f} \right]^{\frac{1}{2}}$
 = $\left[\frac{8 \times 0,05(1,25 - 1,0) \times 9,81 \times 0,00016 \text{ m}}{0,02} \right]^{\frac{1}{2}}$
 = 0,088 m/s
- 4) Kecepatan horizontal (v_h) = $\frac{Q}{\text{Across}}$
 = $\frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{3,125 \text{ m} \times 2,94 \text{ m}}$
 = 0,0016 m/s

Karena nilai v_h lebih kecil daripada v_{sc} maka tidak terjadi *scouring*/penggerusan endapan partikel.

- ❖ Cek N_{re} dan N_{fr}
 Cek bilangan reynold dan bilangan froude dilakukan untuk mengetahui keadaan aliran air (turbulen atau laminar). Karena yang digunakan adalah sedimentasi tipe 1, maka aliran harus laminar agar partikel dapat tersedimentasi dengan baik. Nilai batas agar aliran tetap laminar yaitu $N_{re} < 1$ dan $N_{fr} > 10^{-5}$

$$\begin{aligned}
 1) \quad R &= \frac{L+H}{L+2H} = \frac{2,94 \text{ m} + 3,125 \text{ m}}{2,94 \text{ m} + 2 \times 3,125 \text{ m}} = 0,659 \\
 2) \quad N_{re} \text{ partikel} &= \frac{Vs \times dp}{v} = \frac{0,000347 \times 0,00016}{0,8394 \times 10^{-6}} = 0,06 \\
 3) \quad N_{fr} &= \frac{vh^2}{2g} = \frac{0,0016^2}{2 \times 9,8} = 1,3 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

Bilangan Froude tidak memenuhi nilai batas yang ditetapkan untuk aliran menjadi laminar, sehingga dibutuhkan *baffle*.

❖ *Perforated Baffle*

Direncanakan :

- Jumlah lubang = 100 unit
- Panjang baffle = lebar bak = 3 m
- Tinggi baffle = tinggi bak = 3,125 m
- Tebal baffle = 0,2 m
- Diameter = 0,03 m
- Baffle diletakkan 1 m di depan inlet

Perhitungan :

- A = tinggi x panjang
= 3,125 m x 3 m
= 9,375 m²
- Luas tiap lubang = πr^2
= 0,000707 m²

Adapun perhitungan dan susunan dari lubang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad Q \text{ tiap lubang} &= \frac{Q \text{ tiap bak}}{n} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{100} \\
 &= 0,00015 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \bullet \quad \text{Interval lubang vertikal} &= \frac{\text{tinggi baffle} - (\text{jumlah lubang} \times d)}{(\text{jumlah lubang} + 1)} \\
 &= \frac{3,125 \text{ m} - (10 \times 0,03 \text{ m})}{(10 + 1)} \\
 &= 0,257 \text{ m} \\
 \bullet \quad \text{Interval lubang horizontal} &= \frac{2,94 \text{ m} - (10 \times 0,03 \text{ m}^2)}{(10 + 1)} \\
 &= 0,24 \text{ m} \\
 \bullet \quad N_{re} &= \frac{Q \text{ lubang}}{v} = \frac{\pi d}{v}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,00015 \text{ m}^3/\text{detik} / \pi \times 0,03 \text{ m}}{0,8394 \times 10^{-6}} \\
 &= 0,159 \\
 \bullet N_{fr} &= \frac{Q_{\text{lubang}} / \text{Alubang}}{\frac{g \times (A / \pi d)}{0,00015 / 0,000707}} \\
 &= \frac{9,81 \times (0,000707 / 3,14 \times 0,03)}{2,89^3}
 \end{aligned}$$

d. Zona Inlet

- Saluran Pembawa

Ketentuan :

- $Q_{\text{puncak}} = 0,03 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $V_{\text{rencana}} = 0,8 \text{ m}/\text{detik}$
- W (lebar) : kedalaman (H) = 2 : 1
- Panjang saluran = 1,5 m
- Koef. Gesek (n) = 0,015

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \bullet v &= \frac{1}{n} \left(\frac{w \times h}{w + 2h} \right)^{2/3} S^{1/2} \\
 0,8 &= \frac{1}{0,015} \left(\frac{2 \times 1}{2 + 2} \right)^{2/3} S^{1/2} \\
 S &= 0,0003 \\
 \bullet \text{ Kedalaman (h)} &= \left[\frac{1,5874 \times Q \times n}{2\sqrt{S}} \right]^{\frac{3}{8}} \\
 &= \left[\frac{1,5874 \times 0,03 \times 0,015}{2\sqrt{0,0003}} \right]^{\frac{3}{8}} \\
 &= 0,23 \text{ m} \\
 H_f \text{ saluran pembawa} &= S \times L \\
 &= 0,0003 \times 1,5 = 0,00045 \text{ m} \\
 H_v &= \frac{v^2}{2g} = \frac{(0,8 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81} = 0,0326 \text{ m} \\
 H_f \text{ total} &= H_f + H_v \\
 &= 0,00045 + 0,0326 \\
 &= 0,032 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Saluran Pembagi

Ketentuan :

- $Q_{\text{puncak}} = 0,03 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Jumlah bak = 2 buah

- Q tiap bak = 0,015 m³/detik
- v rencana = 0,8 m/detik
- W:H = 2 : 1
- Panjang saluran = 16,5 m
- Koef. Gesek (n) = 0,015

Perhitungan :

- S = 0,0003
- h =
$$\left[\frac{1,5874 \times Q \times n}{2\sqrt{S}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

$$= \left[\frac{1,5874 \times 0,015 \times 0,015}{2\sqrt{0,0003}} \right]^{\frac{3}{8}} = 0,17 \text{ m}$$
- Hf saluran = S x L

$$= 0,0003 \times 1,5 = 0,0005 \text{ m}$$
- Hv =
$$\frac{v^2}{2g} = \frac{0,8^2}{2 \times 9,81} = 0,0326 \text{ m}$$
- Hf total = Hf + Hv

$$= 0,0005 \text{ m} + 0,0326 \text{ m}$$

$$= 0,037 \text{ m}$$

e. Pintu Air Bak Pengendap I

Ketentuan :

- Lebar pintu (β) = 0,5 m
- Q_{pintu} = 0,015 m³/detik

Perhitungan

- Tinggi pintu air (H) =
$$\left(\frac{\frac{3}{2} \times Q}{\sqrt{2gCd\beta}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= \left(\frac{\frac{3}{2} \times 0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{\sqrt{2 \times 9,81 \times 0,8 \times 1,5 \text{ m}}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 0,026 \text{ m}$$
- H_f =
$$\left(\frac{Q}{\mu\beta H} \right) \times \frac{1}{2g}$$

$$= \left(\frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,8 \times 1 \times 0,17} \right) \times \frac{1}{2 \times 9,81}$$

$$= 0,0056 \text{ m}$$

f. Zona lumpur
Diketahui:

- Q_{ave} per bak = $0,0135 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $MTSS_{endap}$ = $\% \text{removal TSS} \times [TSS] \times Q_{ave}$
 $= 58,82\% \times 146 \text{ mg/l} \times 0,0135 \text{ m}^3/\text{detik}$
 $= \frac{11.593,422 \text{ mg/detik} \times 86400 \text{ detik/hari}}{10^6 \text{ kg/mg}}$
 $= 1001,672 \text{ kg/hari}$
- $[TSS]_{effluent}$ = $\% \text{removal TSS} \times [TSS]$
 $= 58,82\% \times 146 \text{ mg/l}$
 $= 85,87 \text{ mg/l}$

Diasumsikan :

- Sg lumpur = 1,02 (Metcalf, 2014)
- % Solid = 3% (Metcalf, 2014)

Perhitungan

- Volume lumpur = $\frac{M \text{ solid}}{\rho \text{ lumpur} \times \% \text{solid}}$
 $= \frac{1001,672 \text{ kg/hari}}{1020 \text{ kg/m}^3 \times 3\%}$
 $= 32,73 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau $16,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
 untuk tiap unit

Dimensi ruang lumpur

- H ruang lumpur rencana = 2 m
- P ruang lumpur atas = p bak = 3 m
- L ruang lumpur = 3 m
- $T_g 45^\circ$ = $\frac{1,04}{1}$
 $= \frac{1,04}{1}$
 $= 1,04$
- L ruang lumpur bawah = $3 \text{ m} - 2x$
 $= 3 \text{ m} - (2 \times 1,04)$
 $= 1 \text{ m}$
- P ruang lumpur bawah = 1 m
- H produksi lumpur = $\frac{3 \times \text{Volume lumpur}}{A1 + A2 + \sqrt{A1 + A2}}$
 $= \frac{3 \times 16,62 \text{ m}^3/\text{hari}}{(8,64 + 0,74) \text{ m}^2 + \sqrt{(8,64 + 0,74) \text{ m}^2}}$
 $= 4,02 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ t ruang lumpur penuh} &= \frac{H \text{ lumpur rencana}}{H \text{ lumpur sebenarnya}} = \frac{2}{4,02} \\
 &= 0,49 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Untuk itu, diperlukan pengurasan lumpur sebanyak 2 kali sehari, dengan debit setiap pengurasan ialah $8,33 \text{ m}^3$

• Pipa penguras lumpur

Direncanakan :

- Waktu pengurasan = 15 menit (900 detik)
- Kecepatan dalam pipa = $0,8 \text{ m/detik}$
- Head statis = 5 m

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 - Q &= \frac{\text{volume lumpur}}{\text{lama waktu pengurasan}} = \frac{8,33 \text{ m}^3}{900 \text{ detik}} \\
 &= 0,0093 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

$$- A = \frac{Q}{V} = \frac{0,0093}{0,8} = 0,0116 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 - D_{\text{teoritis}} &= \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0116 \times 4}{\pi}} \\
 &= 0,122 \text{ m} = 122 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$- D_{\text{terapan}} = 129,2 \text{ mm (PVC 12,5)}$$

$$\begin{aligned}
 - V_{\text{pipa}} &= \frac{4Q}{\pi d^2} \\
 &= \frac{0,0093 \times 4}{\pi \times (0,1292 \text{ m})^2} \\
 &= 0,715 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

• Pompa penguras lumpur

Ketentuan :

$$- \text{Jumlah pompa} = 2 \text{ unit (1 unit aktif, 1 idle)}$$

$$- \text{Debit lumpur} = 0,0093 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$- v_{\text{pipa}} = 0,72 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned}
 - H_{f_{\text{suction}}} &= \left[\frac{Q}{0,001555 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \\
 &= \left[\frac{9,3 \text{ L/detik}}{0,001555 \times 150 \times 12,92^{2,63}} \right]^{1,85} \times 6 \text{ m} \\
 &= 0,022 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - H_{f_{\text{discharge}}} &= \left[\frac{Q}{0,001555 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \\
 &= \left[\frac{9,3 \text{ L/detik}}{0,001555 \times 150 \times 12,92^{2,63}} \right]^{1,85} \times 6 \text{ m} \\
 &= 0,022 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$- H_{f_{\text{mayor losses}}} = 0,022 \text{ m} + 0,022 \text{ m} = 0,044 \text{ m}$$

- H_f aksesoris = 0,01 m
- H_v suction = $\frac{v^2}{2g} = 0,037$ m
- H_v discharge = $\frac{v^2}{2g} = 0,037$ m
- H_f total = (0,044 + 0,01 + 0,037 + 0,037)m = 0,128 m
- Head total = 6 + 0,128 m = 6,128 m

Daya pompa yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (efisiensi 70%):

$$\begin{aligned}
 \text{- Power pompa} &= \frac{g \times Q \times H_f \times \text{densitas}}{70\%} \\
 &= \frac{9,81 \times 0,0093 \text{ m}^3/\text{detik} \times 6,128 \text{ m} \times 1000}{70\%} \\
 &= 787,86 \text{ Watt} \\
 &= 0,788 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

g. Zona Outlet

Ketentuan :

- Weir loading rate = 124 m³/m.hari
- Q = 0,015 m³/detik
- Jumlah gutter (n) = 4 buah
- Lebar gutter (l) = 0,5 m
- Jarak antar gutter (s) = 0,6 m

Perhitungan :

- $P_{\text{total weir}} = \frac{Q}{WLR}$

$$= \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{124 \text{ m}^3/\text{m.hari} \times \frac{1}{86400} \text{ hari}/\text{detik}}$$

$$= 10,45 \text{ m}$$
- P per weir

$$P_{\text{total weir}} = (n \times l) + [(n-1)s] + [(2n-2)p]$$

$$10,45 \text{ m} = (4 \times 0,5) + [(4-1) 0,6] + (2.4-2)p$$

$$10,45 \text{ m} = 2 + 1,8 + 6p$$

$$p = 1,11 \text{ m}$$
- Tinggi air diatas gutter

$$Q = 1,84 \times L \times H^{3/2}$$

$$0,015 \text{ m}^3/\text{detik} = 1,84 \times 1,11 \text{ m} \times H^{3/2}$$

$$H = 0,0378 \text{ m}$$
- Tinggi limpasan air (weir)

$$\begin{aligned}
 Q &= \left(\frac{2}{3} \times C_d \times L \times \sqrt{2 \times 9,81} \right) \times h^{3/2} \\
 0,015 \text{ m}^3/\text{detik} &= \left(\frac{2}{3} \times 0,6 \times 1,11 \times \sqrt{2 \times 9,81} \right) \times h^{3/2} \\
 &= 0,038 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_c &= \sqrt{\frac{(Q/s)^2}{g}} \\
 &= \sqrt{\frac{\left(\frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,6} \right)^2}{9,81}} = 0,0079 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_u &= 1,73 \times Y_c \\
 &= 1,73 \times 0,0079 = 0,0137 \text{ m}
 \end{aligned}$$

• Gullet

$$\text{lebar (l)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman air pada gullet (h)} = Y \text{ upstream (} Y_u \text{)}$$

$$\begin{aligned}
 Y \text{ kritis (} Y_c \text{)} &= \sqrt{\frac{Q/l^2}{g}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,015 \text{ m}^3/\text{detik} / (0,5 \text{ m})^2}{9,81}} \\
 &= 0,0195 \text{ m} \\
 Y_{\text{upstream (} Y_u \text{)}} &= 1,73 \times Y_c \\
 &= 1,73 \times 0,0195 \text{ m} \\
 &= 0,034 \text{ m}
 \end{aligned}$$

h. Saluran pembawa ke Bak Ekualisasi

Direncanakan :

$$\bullet \text{ Debit saluran} = 0,015 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\bullet \text{ Kecepatan Rencana} = 0,5 \text{ m/detik}$$

$$\bullet \text{ Panjang saluran} = 5 \text{ m}$$

$$\bullet \text{ Lebar : Kedalaman} = 2 : 1$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Luas} &= Q / V \\
 &= 0,015 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,5 = 0,03 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman} &= \sqrt{\frac{\text{Luas}}{2}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,03 \text{ m}^2}{2}} = 0,12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Lebar} = 2 \times 0,12 = 0,24 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ saluran} &= 0,015 \text{ (beton)} \\
 \text{Jari-jari hidrolis} &= (h \times b)/(2h + b) \\
 &= (0,12\text{m} \times 1)/(2 \times 0,12\text{m} + 0,24\text{m}) \\
 &= 0,25 \text{ m} \\
 \text{Slope} & \\
 V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\
 0,5 \text{ m/detik} &= \frac{1}{0,015} \times 0,25^{2/3} \times S^{1/2} \\
 \text{Slope} &= 0,0009 \\
 H_f &= \text{Slope} \times L \\
 &= 0,0009 \times 5 = 0,0045 \text{ m} \\
 H_v &= v^2/2g \\
 &= 0,5^2/(2 \times 9,81) = 0,013 \text{ m} \\
 \text{Total head loss} &= 0,0045 + 0,013 \\
 &= 0,0058 \text{ m}
 \end{aligned}$$

5.3.3.3 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi merupakan unit yang bertujuan untuk mencegah shock loading yang dapat membawa dampak negatif bagi pengolahan sekunder. Adapun metode yang digunakan dalam unit ini yaitu menstabilkan debit air limbah influen yang fluktuatif akibat pemakaian air yang bergantung pada aktifitas.

a. Dimensi bak ekualisasi

Penentuan volume bak ekualisasi ini didasarkan pada besarnya suplai air yang masuk ke dalam bak ekualisasi ini dari bak pengendapan I. Persen suplai air perjam dapat diasumsikan sesuai dengan jam aktivitas pemakaian air.

Untuk mencari debit fluktuasi digunakan persamaan:

$$Q_f = 24 \text{ jam} \times \% \text{pemakaian} \times Q_{ave} \dots\dots\dots (5.13)$$

Dimana :

$$Q_f = \text{Debit fluktuatif (m}^3/\text{detik)}$$

$$Q_{ave} = \text{Debit rata rata (m}^3/\text{detik)}$$

Untuk mencari volume fluktuasi digunakan persamaan :

$$v_f = Q_f \times 3600 \frac{\text{detik}}{\text{jam}} + v_f \dots\dots\dots (5.14)$$

Dimana :

$$v_f = \text{Volume fluktuatif (m}^3\text{)}$$

$$Q_f = \text{Debit fluktuatif (m}^3/\text{detik)}$$

$$V_f = \text{Volume fluktuatif jam sebelumnya (bila ada)}$$

Berikut tabel perhitungan fluktuasi debit air limbah

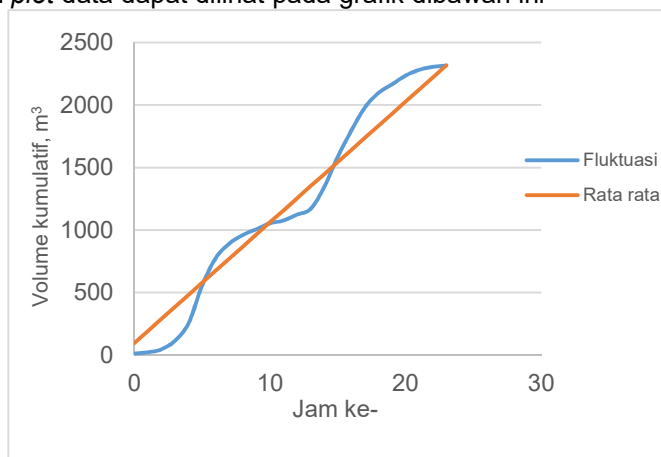
Tabel 5. 15 Spreadsheet Fluktuasi Debit Air Limbah

Jam	Pemakaian (%)	Q_f	Q_{ave}	v_f	v_{ave}
		m^3/s	m^3/s	m^3	m^3
0 - 1	1%	0,003	0,027	12	97
1 - 2	1%	0,003	0,027	23	193
2 - 3	1%	0,006	0,027	46	290
3 - 4	3%	0,019	0,027	116	386
4 - 5	6%	0,039	0,027	255	483
5 - 6	13%	0,084	0,027	556	579
6 - 7	10%	0,061	0,027	776	676
7 - 8	5%	0,032	0,027	892	772
8 - 9	3%	0,019	0,027	961	869
9 - 10	2%	0,013	0,027	1008	965
10 - 11	2%	0,013	0,027	1054	1062
11 - 12	1%	0,006	0,027	1077	1158
12 - 13	2%	0,013	0,027	1123	1255
13 - 14	2%	0,013	0,027	1170	1351
14 - 15	8%	0,048	0,027	1343	1448
15 - 16	11%	0,068	0,027	1587	1544
16 - 17	9%	0,058	0,027	1795	1641
17 - 18	8%	0,051	0,027	1980	1737
18 - 19	5%	0,032	0,027	2096	1834
19 - 20	3%	0,019	0,027	2166	1930
20 - 21	3%	0,019	0,027	2235	2027
21 - 22	2%	0,013	0,027	2281	2123

22 - 23	1%	0,006	0,027	2305	2220
23 - 0	1%	0,003	0,027	2316	2316

(Sumber : Hasil perhitungan)

Setelah didapatkan nilai volume fluktuatif dan volume rata rata, kemudian dibuat grafik yang berkorelasi dengan jam. Adapun hasil *plot* data dapat dilihat pada grafik dibawah ini



Gambar 5. 2 Grafik Produksi Air Limbah

(Sumber : Hasil perhitungan)

Volume dari bak sedimentasi setara dengan jarak vertikal dari dua titik tangent garis parallel volume kumulatif fluktuatif (titik tertinggi dan titik terendah) terhadap volume kumulatif rata rata. Adapun volume yang didapat dari grafik ialah 545,19 m³. Prinsip yang digunakan sama dengan bak pengumpul, dimana waktu detensi harus dibawah 10 menit agar tidak terjadinya sedimentasi pada unit (Qasim, 1986). Sehingga dapat dihitung dimensi bak ekualisasi :

Direncanakan

- H air = 2 m
- Fb = 0,5 m
- P : L = 1 : 1

Perhitungan

- As = $\frac{\text{Volume}}{\text{H air}}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{545,19 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} \\
 &= 272,595 \text{ m}^2 \\
 \bullet L &= \sqrt{\frac{As}{2}} \\
 &= \sqrt{\frac{272,595 \text{ m}^2}{2}} \\
 &= 11,68 \text{ m} \approx 12 \text{ m} \\
 \bullet P &= 12 \text{ m} \\
 \bullet H_{\text{total}} &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Pompa bak ekualisasi

Pompa yang akan digunakan pada bak pengumpul ini adalah pompa yang berjenis submersible pump / pompa terendam. Berikut ini merupakan perhitungan yang menjadi dasar penentuan spesifikasi pompa :

Ketentuan :

- n pompa = 2 unit (1 unit aktif, 1 unit *idle*)
- v = 1 m/detik
- jarak ke MBBR = 5 m
- Q_{ave} = 0,027 m³/detik

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{Apipa} &= \frac{Q}{v} \\
 &= \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m}/\text{detik}} \\
 &= 0,027 \text{ m}^2 \\
 \bullet \text{Dpipa} &= \sqrt{\frac{4 \times Q}{2 \times \pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,027 \text{ m}^3/\text{detik}}{2 \times \pi}} \\
 &= 0,13 \text{ m} \\
 \bullet \text{Dterapan} &= 147,6 \text{ mm (PVC 12,5)} \\
 \bullet H_r \text{ discharge} &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times c \times D^{2,68}} \right)^{1,85} \times L \\
 &= \left(\frac{27 \text{ l/detik}}{0,00155 \times 130 \times 14,76 \text{ cm}^{2,68}} \right)^{1,85} \times 5 \text{ m} \\
 &= 0,067 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- $H_v = \frac{v^2}{2g} = 0,051 \text{ m}$
- $H_f \text{ minor} = 0,01 \text{ m}$
- Headloss total $= H_f + H_v + H_f \text{ minor}$
 $= 0,07 \text{ m} + 0,051 \text{ m} + 0,01 \text{ m}$
 $= 0,131 \text{ m}$
- Head total $= \text{Head statis} + H_f \text{ total}$
 $= 2,5 \text{ m} + 0,131 \text{ m}$
 $= 2,631 \text{ m}$

Daya pompa yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (efisiensi 70%):

$$\begin{aligned}
 \text{- Power pompa} &= \frac{g \times Q \times H_f \times \text{densitas}}{70\%} \\
 &= \frac{9,81 \times 0,015 \text{ m}^3/\text{detik} \times 2,631 \text{ m} \times 1000}{70\%} \\
 &= 556,46 \text{ Watt} \\
 &= 0,557 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

5.3.3.4 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Dalam perencanaan ini digunakan tipe MBBR yang terfokus untuk menurunkan BOD dan nitrifikasi. Adapun penggunaan *aerator* pada kompartemen pertama berujuan untuk menurunkan kadar BOD dan meminimalisir pertumbuhan bakteri heterotropik pada kompartemen berikutnya, sehingga bakteri untuk nitrifikasi dapat tumbuh dengan baik pada permukaan biomedial. Penggunaan reaktor multi-kompartemen untuk zona nitrifikasi dapat meningkatkan konsentrasi ammonia-N sehingga *flux* nitrifikasi semakin naik.

Diketahui :

- $[BOD]_{in} = 131,48 \text{ mg/l}$
- $[NH_3]_{in} = 107,26 \text{ mg/l}$
- $[TKN]_{in} = 178,77 \text{ mg/l}$
- $Q_{ave} = 2316 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $[NH_3]_{eff \text{ target}} \leq 10 \text{ mg/l}$

Diasumsikan :

- DO bak nitrifikasi $= 4,0 \text{ mg/l}$
- SRT $= 6 \text{ hari}$
- $bCOD/BOD = 0,6$
- $[NH_3]_{eff \text{ target}} = 10 \text{ mg/l}$
- $\Theta \text{ untuk DO} = 1,058 \text{ (Metcalf, 2014)}$

- Θ untuk nitrifikasi = 1,098 (Metcalf, 2014)
- Y_H = 0,45 g VSS/g bCOD
- b_{H2O} = 0,012 g/g.hari
- Θ untuk b = 1,04
- T = 28°C

Direncanakan :

- Jumlah Bak = 4 bak
- Bak 1 = BOD removal
- Bak 2 = prenitrifikasi
- Bak 3 & 4 = nitrifikasi
- *Removal flux* bak 1 = 12,0 g/m².hari (75% efisiensi)
- *Removal flux* bak 2 = 4,0 g/m².hari (90% efisiensi)
- Vol media bak 1 & 2 = 50%
- Luas bak 3 : bak 4 = 1 : 1
- Vol media bak 3 & 4 = 60%
- P : L = 1 : 1
- MLSS = 3500 mg/l (Hopper, 2009)
- MLVSS/MLSS = 0,8

Perhitungan :

a. Volume bak pertama

- BOD flux = $\frac{\text{BOD removal flux}}{\% \text{BOD removal}}$
 $= \frac{12 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari}}{75\%}$
 $= 16,0 \text{ gBOD/m}^2 \cdot \text{hari}$
- Area media = $\frac{\text{BOD rate}}{\text{BOD flux}} = \frac{2316 \text{ m}^3/\text{hari} \times 131,48 \text{ gBOD/m}^3}{16,0 \text{ gBOD/m}^2 \cdot \text{hari}}$
 $= 19.031,73 \text{ m}^2$
- Volume media = $\frac{19.031,73 \text{ m}^2}{500 \text{ m}^2/\text{m}^3}$
 $= 38,06 \text{ m}^3$
- Vol. bak = 38,06 m³/50%
 $= 76,12 \text{ m}^3$
- Hrencana = 3 m
- As bak = 76,12 m³/3 m
 $= 25,37 \text{ m}^2$
- P bak = $\sqrt{25,37 \text{ m}^2}$

- $$= 5,037 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$
- L bak $= 5 \text{ m}$
 - HRT $= \frac{V}{Q} = \frac{76,12 \text{ m}^3}{2316 \text{ m}^3/\text{hari}} \frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} = 0,78 \text{ jam}$
- b. Volume bak kedua
- BOD flux $= \frac{\text{BOD removal flux}}{\% \text{BOD removal}}$
 $= \frac{4 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{hari}}{90\%}$
 $= 4,44 \text{ gBOD}/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$
 - Area media $= \frac{\text{BOD rate}}{\text{BOD flux}} = \frac{2316 \text{ m}^3/\text{hari} \times (131,48 \times 25\%) \text{ gBOD}/\text{m}^3}{4,44 \text{ gBOD}/\text{m}^2 \cdot \text{hari}}$
 $= 17.145,7 \text{ m}^2$
 - Volume media $= \frac{17.145,7 \text{ m}^2}{500 \text{ m}^2/\text{m}^3}$
 $= 34,29 \text{ m}^3$
 - Vol. bak $= 34,29 \text{ m}^3/50\%$
 $= 68,58 \text{ m}^3$
 - Volume disamakan dengan bak pertama
 - HRT $= \frac{V}{Q} = \frac{75 \text{ m}^3}{2316 \text{ m}^3/\text{hari}} \frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} = 0,77 \text{ jam}$
- c. Ammonia untuk nitrifikasi
- $\text{NH}_o = \text{TKN} - 12\% \frac{P_{\text{xbio}}}{Q}$
 - $\frac{P_{\text{xbio}}}{Q} = \frac{(Y_H)(\text{BOD})[1 + f_d(b_H)(\text{SRT})]}{[1 + b_H(\text{SRT})]}$
 - $b_{H20} = b_{H20}(1,04)^{(28-2)}$
 $= (0,12 \text{ g/g.hari})(1,04)^{(28-20)}$
 $= 0,164 \text{ g/g.hari}$
 - $Y_H = 0,45 \frac{\text{g VSS}}{\text{g BOD}} \left(\frac{1,6 \text{ g bCOD}}{\text{g BOD}} \right) = 0,72 \text{ g} \frac{\text{VSS}}{\text{g}} \text{BOD}$
 - $\frac{P_{\text{xbio}}}{Q} = \frac{(0,72 \text{ g vss/g BOD})(131,48 \text{ g}/\text{m}^3)[1 + 0,15(0,164)(6)]}{[1 + (0,164)(6)]}$
 $= 87,23 \text{ g VSS}/\text{m}^3$
 - $\text{NH}_o = \text{TKN} - 12\% \frac{P_{\text{xbio}}}{Q}$
 $= 178,77 \text{ gN}/\text{m}^3 - 12\%(87,23 \text{ g VSS}/\text{m}^3)$
 $= 168,3 \text{ gN}/\text{m}^3$
- d. Volume bak 3 & 4
- *Flux* nitrifikasi bak ketiga (dipengaruhi DO)

$$J_{N28} = 0,5 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{hari} (1,058)^{(28-15)}$$

$$= 1,04 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{hari}$$

- Flux nitrifikasi bak keempat

$$J_{N28} = \left[\frac{N}{(2,29 \frac{\text{gN}}{\text{m}^3} + N)} \right] (3,3 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{hari})$$

$$= \left[\frac{0,7 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{(2,29 \frac{\text{gN}}{\text{m}^3} + 0,7 \frac{\text{g}}{\text{m}^3})} \right] (3,3 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{hari})$$

$$= 0,797 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$J_{N28} = 0,797 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{hari} (1,058)^{(28-15)}$$

$$= 1,66 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{hari}$$

- Persamaan bak 3 dan bak 4

$$\text{Media area} = \frac{\text{BOD ratea}}{\text{BOD fluxa}} = \frac{\text{BOD rateb}}{\text{BOD fluxb}}$$

$$= \frac{178,77 - x}{1,04} = \frac{x - 0,7}{0,797}$$

$$X = 109,74 \text{ gN/m}^3$$

$$\text{- Area media} = \frac{2316 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times (109,74 - 0,7) \text{ gN/m}^3}{1,04 \frac{\text{gBOD}}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}}}$$

$$= 242.825 \text{ m}^2$$

$$\text{- Volume media} = \frac{242,825 \text{ m}^2}{500 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}}$$

$$= 485,65 \text{ m}^3$$

$$\text{- Volume bak} = 485,65 \text{ m}^3 / 60\%$$

$$= 809,75 \text{ m}^3$$

$$\text{- H rencana} = 5 \text{ m}$$

$$\text{- As bak} = 809,75 \text{ m}^3 / 5 \text{ m}$$

$$= 161,95 \text{ m}^2$$

$$\text{- P bak} = \sqrt{161,95 \text{ m}^2}$$

$$= 12,8 \text{ m} \approx 13 \text{ m}$$

$$\text{- L bak} = 13 \text{ m}$$

$$\text{- HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{845 \text{ m}^3}{2316 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} = 8,8 \text{ jam}$$

e. Kebutuhan O₂

$$\text{- } P_{\text{xbio}} = \frac{yQ(S_0 - S_e)}{1 + (k_d \theta_c)}$$

$$= \frac{0,72 \times 2316 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} (0,13148 - 0,01315) \text{ kg/m}^3}{1 + (0,1 \times 6)}$$

$$= 123,32 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}
- [\text{NO}_x] &= [\text{TKN}]_{\text{in}} - [\text{TKN}]_{\text{eff}} - \frac{\% \text{sel} \times P_x}{Q} \\
&= (0,1787 - 0,0007) \text{ kg/m}^3 - \frac{12\% \times 123,32 \text{ kg/hari}}{2316 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
&= 0,17 \text{ kg/m}^3 \\
- \text{Keb. O}_2 \text{ bio} &= Q(S_o - S_e) - R \times P_{x\text{bio}} \\
&= 2316 \text{ m}^3/\text{hari} \times (0,13148 - 0,01315) \text{ kg/m}^3 \\
&\quad - 1,42 \times 123,32 \text{ kg/hari} \\
&= 98,94 \text{ kg/hari atau } 4,12 \text{ kg/jam} \\
- \text{Keb O}_2 \text{ nitrifikasi} &= 4,57 \times Q \times [\text{NO}_x] \\
&= 4,57 \times 2316 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,17 \text{ kg/m}^3 \\
&= 1799,3 \text{ kg/hari atau } 74,97 \text{ kg/jam}
\end{aligned}$$

f. Diffuser Udara

Ditetapkan :

- Faktor keamanan = 1,5
- Kandungan O₂ pada udara = 20,2% O₂
- Densitas Udara = 1.157 kg/m³ (28°C)
- Efisiensi diffuser = 80%

Direncanakan :

- Menggunakan diffuser Cylinder Ecorator Seika.

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
\bullet \text{ Vol. udara teoritis O}_2 \text{ bio} &= \frac{R_o}{\text{berat udara} \times 0,202 \frac{\text{gO}_2}{\text{gudara}}} \\
&= \frac{98,94 \text{ kg/hari}}{1,157 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,202 \frac{\text{gO}_2}{\text{gudara}}} \\
&= 0,42 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\bullet \text{ Vol. udara terapan O}_2 \text{ bio} &= \frac{\text{kebutuhan udara}}{\text{efisiensi difusi udara}} \times 1,5 \\
&= \frac{0,42 \text{ m}^3/\text{hari}}{80\%} \times 1,5 \\
&= 1,18 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,05 \text{ m}^3/\text{jam untuk 2 bak} \\
\bullet \text{ Vol. udara teoritis O}_2 \text{ N} &= \frac{R_o}{\text{berat udara} \times 0,202 \frac{\text{gO}_2}{\text{gudara}}} \\
&= \frac{1799,3 \text{ kg/hari}}{1,157 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,202 \frac{\text{gO}_2}{\text{gudara}}} \\
&= 7,69 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\bullet \text{ Vol. udara terapan O}_2 \text{ N} &= \frac{\text{kebutuhan udara}}{\text{efisiensi difusi udara}} \times 1,5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{7,69 \text{ m}^3/\text{hari}}{80\%} \times 1,5 \\
 &= 21,63 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,9 \text{ m}^3/\text{jam untuk 2 bak} \\
 &= \frac{(74,97 + 4,12) \text{ kg}/\text{jam}}{2 \text{ kg } O_2/\text{kWh}} \\
 &= 19 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

• Kebutuhan energi

g. Produksi lumpur

$$P_x \text{ TSS} = \frac{P_{x\text{bio}}}{\frac{\text{MLVSS}/\text{MLSS}}{Q \times Y_n [\text{NOx}]} + \frac{P_{x\text{nitrifikasi}}}{\text{MLVSS}/\text{MLSS}}}$$

$$\begin{aligned}
 P_x \text{ nitrifikasi} &= \frac{1 + K_d \theta_c}{2316 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,72 \times [0,17 \text{ kg}/\text{m}^3]} \\
 &= \frac{1 + 0,1 \times 6}{177,174 \text{ kg}/\text{hari}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_x \text{ TSS} &= [(123,32/80\%) + (177,174/80\%)] \text{ kg}/\text{hari} \\
 &= 375,62 \text{ kg}/\text{hari}
 \end{aligned}$$

h. Pengaliran ke Clarifier

Berikut ini merupakan perhitungan yang menjadi dasar penentuan spesifikasi pompa :

Ketentuan :

- n pompa = 2 unit (1 unit aktif, 1 unit *idle*)
- v = 1 m/detik
- jarak ke Clarifier = 25 m
- Tinggi Clarifier = 7 m
- Q_{ave} = 0,027 m³/detik

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Apipa} &= \frac{Q}{v} \\
 &= \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m}/\text{detik}} \\
 &= 0,027 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Dpipa} &= \sqrt{\frac{4 \times Q}{2 \times \pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,027 \text{ m}^3/\text{detik}}{2 \times \pi}} \\
 &= 0,13 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ Dterapan} = 147,6 \text{ mm (PVC 12,5)}$$

- $H_f \text{ discharge} = \left(\frac{Q}{0,00155 \times c \times D^{2,68}} \right)^{1,85} \times L$
 $= \left(\frac{27 \text{ l/detik}}{0,00155 \times 130 \times 14,76 \text{ cm}^{2,68}} \right)^{1,85} \times 32 \text{ m}$
 $= 0,44 \text{ m}$
- $H_v = \frac{v^2}{2g} = 0,051 \text{ m}$
- $H_f \text{ minor} = 0,01 \text{ m}$
- $\text{Headloss total} = H_f + H_v + H_f \text{ minor}$
 $= 0,44 \text{ m} + 0,051 \text{ m} + 0,01 \text{ m}$
 $= 0,501 \text{ m}$
- $\text{Head statis} = 7 \text{ m} + 0,501 \text{ m}$
 $= 7,501 \text{ m}$

Daya pompa yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (efisiensi 70%):

- $\text{Power pompa} = \frac{g \times Q \times H_f \times \text{densitas}}{70\%}$
 $= \frac{9,81 \times 0,015 \text{ m}^3/\text{detik} \times 7,501 \text{ m} \times 1000}{70\%}$
 $= 1576,8 \text{ Watt}$
 $= 1,577 \text{ kW}$

5.3.3.5 Secondary Clarifier

Penggunaan bangunan *secondary clarifier* berfungsi untuk mengendapkan lumpur dari MBBR. *Surface Overflow Rate* (SOR) dan *Solid Loading Rate* (SLR) merupakan dua aspek yang digunakan sebagai analisis dan desain *secondary clarifier*. Kedua parameter tersebut bergantung pada desain dan operasi sistem lumpur aktif, yang dapat menentukan karakteristik flok *mixed liquor*.

Ketetapan :

- X MLSS = 3500 mg/l
- Q = 96,48 m³/jam
- Xr = 9000 mg/l
- Px TSS = 375,62 kg/hari
- n = 2 unit
- Sf = 2,5 kg/m³ (plot grafik)
- Fb = 0,3 m

Perhitungan

- As
$$= \frac{48,2 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3,5 \text{ kg}/\text{m}^3}{2,5 \text{ kg}/\text{m}^3}$$
$$= 67,48 \text{ m}^2$$
- Diameter
$$= \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 67,48 \text{ m}^2}{\pi}} = 9,27 \text{ m} \approx 9,5 \text{ m}$$
- OVR
$$= \frac{Q}{A}$$
$$= \frac{1158 \text{ m}^3/\text{hari}}{67,48 \text{ m}^2} = 17,16 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \text{ (memenuhi KD)}$$
- SLR
$$= \frac{Q \times X_{\text{MLSS}}}{\text{As}} = \frac{1158 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3,5 \text{ kg}/\text{m}^3}{67,48 \text{ m}^2}$$
$$= 60,1 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{hari} \text{ (memenuhi KD)}$$

Perhitungan kedalaman

- Total M solid MBBR
$$= X_{\text{MLSS}} \times \text{Vol. media total MBBR}$$
$$= 3,5 \text{ kg}/\text{m}^3 \times (38,06 + 38,06 + 485,65 + 485,65) \text{ m}^3$$
$$= 3074,155 \text{ kg}$$
- H_{clearzone}
$$= 1,5 \text{ m}$$
- H_{thickening}
$$= \frac{\text{Msolid MBBR}}{\frac{X_r \times \text{As}}{3074,155 \text{ kg}/2}}$$
$$= \frac{9 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 67,48 \text{ m}^2}{3074,155 \text{ kg}/2}$$
$$= 2,53 \text{ m}$$
- H_{lumpur}
$$= \frac{\text{Msolid MBBR} + P \times \text{TSS}}{\frac{X_r \times \text{As}}{3074,155 \text{ kg}/2 + 360,64 \text{ kg}/2}}$$
$$= \frac{9 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 67,48 \text{ m}^2}{3074,155 \text{ kg}/2 + 360,64 \text{ kg}/2}$$
$$= 2,83 \text{ m}$$
- H_{total}
$$= H_{\text{clearzone}} + H_{\text{thickening}} + H_{\text{lumpur}} + \text{fb}$$
$$= (1,5 + 2,53 + 2,83 + \text{fb}) \text{ m}$$
$$= 6,86 \text{ m} \approx 7 \text{ m} \text{ (fb} = 0,15 \text{ m)}$$
- Volume bak
$$= \text{As} \times H_{\text{total}} \text{ tanpa fb}$$
$$= 67,48 \text{ m}^2 \times 6,86 \text{ m}$$
$$= 462,91 \text{ m}^3$$
- Waktu detensi (td)
$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Debit}} = \frac{462,91 \text{ m}^3}{1158 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}$$
$$= 9,59 \text{ jam}$$
- Densitas lumpur
$$= 1015 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ (Metcalf, 2014)}$$
- % Solid
$$= 0,8\% \text{ (Metcalf, 2014)}$$

- Volume lumpur

$$= \frac{M \text{ solid}}{\rho \text{ lumpur} \times S_g \times \% \text{solid}}$$

$$= \frac{375,62 \text{ kg/hari}}{1015 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,8\%}$$

$$= 46,25 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 23,125 \text{ m}^3/\text{hari per unit clarifier}$$
- Pengaliran air ke unit desinfeksi
 Berikut ini merupakan perhitungan yang menjadi dasar penentuan elevasi unit :
 Ketentuan :
 - n pompa = 2 unit (1 unit aktif, 1 unit *idle*)
 - v = 1 m/detik
 - jarak ke bak kontak = 20 m
 - Q_{ave} = 0,027 m³/detik
 Perhitungan :
 - Apipa

$$= \frac{Q}{v}$$

$$= \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m}/\text{detik}}$$

$$= 0,027 \text{ m}^2$$
 - Dpipa

$$= \sqrt{\frac{4 \times Q}{2 \times \pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 0,027 \text{ m}^3/\text{detik}}{2 \times \pi}}$$

$$= 0,13 \text{ m}$$
 - Dterapan = 147,6 mm (PVC 12,5)
 - $H_f \text{ discharge} = \left(\frac{Q}{0,00155 \times c_c \times D^{2,68}} \right)^{1,85} \times L$

$$= \left(\frac{27 \text{ l/detik}}{0,00155 \times 130 \times 14,76 \text{ cm}^{2,68}} \right)^{1,85} \times 20 \text{ m}$$

$$= 0,275 \text{ m}$$
 - $H_v = \frac{v^2}{2g} = 0,051 \text{ m}$
 - $H_f \text{ minor} = 0,01 \text{ m}$
 - Headloss total = $H_f + H_v + H_f \text{ minor}$

$$= 0,275 \text{ m} + 0,051 \text{ m} + 0,01 \text{ m}$$

$$= 0,336 \text{ m}$$
 - Head total = Head statis + H_f total

$$= 0,3 \text{ m} + 0,501 \text{ m}$$

$$= 0,8 \text{ m}$$

- Head statis untuk bangunan ditetapkan perbedaan ketinggian sebesar 0,8 meter agar air dapat mengalir

5.3.3.6 Desinfeksi

Desinfeksi berfungsi untuk menghilangkan pathogen yang terdapat pada air limbah agar aman dibuang ke badan air. Adapun perhitungan kebutuhan desinfeksi yaitu sebagai berikut

Direncanakan :

BPC $= 2,5 - 3,5 \text{ mg/L}$ (Metcalf, 2014)

Q $= 2316 \text{ m}^3/\text{hari}$

Kadar klor $= 60\%$

Panjang pipa $= 5 \text{ m}$

Waktu kontak $= 90 \text{ menit}$

Saluran parallel $= 3$

Kedalaman bak $= 3 \text{ m}$

Lebar bak per saluran $= 2 \text{ m}$

Perhitungan

- Kebutuhan klor $= \text{Dosis klor} \times \text{debit limbah}$
 $= 3,5 \text{ mg/L} \times 2316 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 8,106 \text{ kg/hari}$

- Klor pasaran $= \frac{\text{Kebutuhan klor}}{\text{kadar klor}}$
 $= \frac{8,106 \text{ kg/hari}}{60\%}$
 $= 13,510 \text{ kg/hari}$

- Debit klor $= 0,094 \text{ mg/detik}$

- P bak $= \frac{2316 \text{ m}^3/\text{hari}}{3 \times 1440 \text{ menit}/\text{hari}} \times 90 \text{ menit} \times \frac{1}{(2 \times 3) \text{ m}}$
 $= 8,042 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$

- v bak $= \frac{2316 \text{ m}^3/\text{hari}}{3 \times 1440 \text{ menit}/\text{hari} \times 60 \text{ detik}/\text{menit}} \times \frac{1}{(2 \times 3) \text{ m}}$
 $= 0,006 \text{ m/s}$

5.3.3.7 Sludge Holding Tank

Sludge holding tank digunakan untuk menampung lumpur selama beberapa waktu hingga dipindahkan oleh truk lumpur menuju IPLT Keputih.

- Direncanakan :
- Waktu kuras = Setiap hari
- Sf (safety factor) = 120%
- Lumpur dari BP1 = $32,73 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Lumpur dari *clarifier* = $46,25 \text{ m}^3/\text{hari}$
- H bak = 2 m
- P : L bak = 1 : 1
- Volume truk tinja = 5 m^3
- Perhitungan volume
- Lumpur masuk = Lumpur BP1 + Lumpur clarifier
 $= 32,73 \text{ m}^3/\text{hari} + 46,25 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 78,98 \text{ m}^3/\text{hari}$
 - Volume bak = Lumpur masuk \times Sf
 $= 78,98 \text{ m}^3/\text{hari} \times 120\%$
 $= 94,776 \text{ m}^3/\text{hari}$
 - As = Vol bak / H bak
 $= 94,776 \text{ m}^3 / 2 \text{ m}$
 $= 47,388 \text{ m}^2$
 - L bak = $\sqrt{47,388 \text{ m}^2}$
 $= 6,8 \text{ m} \approx 7 \text{ m}$
 - P bak = 7 m
 - Jumlah ritasi truk = volume lumpur / volume truk
 $= \frac{78,98 \text{ m}^3/\text{hari}}{5 \text{ m}^3}$
 $= 15 \text{ ritasi}$ apabila hanya 1 truk digunakan
 - Durasi 1 ritasi = Waktu isi + Waktu Perjalanan + Waktu kuras
 $= 30 \text{ menit} + 30 \text{ menit} + 30 \text{ menit}$
 $= 90 \text{ menit}$

Agar pelaksanaan pengangkutan lumpur dapat berjalan dengan ideal sesuai UU No.13 Tahun 2003 mengenai Ketenagakerjaan, maka dibutuhkan 3 unit truk lumpur dengan 5 kali ritasi dan jam kerja per supir yaitu 7,5 jam.

5.3.4 Profil Hidrolis IPAL

Profil hidrolis merupakan referensi grafis dari hydraulic grade line pada suatu bangunan pengolahan air limbah. Profil

hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi pengolahan air limbah. Hal tersebut dapat menunjukkan adanya kehilangan tekanan (headloss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Sehingga profil hidrolis ini sangat penting untuk penentuan peletakan bangunan (didalam tanah, dipermukaan tanah atau diatas permukaan tanah) dan untuk mengetahui peletakan pompa yang tepat.

Beda tinggi setiap unit instalasi dapat diketahui sesuai dengan hasil perhitungan kehilangan tekanan pada bab sebelumnya. Hasil perhitungan profil hidrolis unit pengolahan air limbah disajikan pada tabel berikut

Tabel 2. 11 Profil Hidrolis IPAL

Keterangan	Ketinggian Muka air (mdpl)
Elevasi muka tanah	2,9
Pipa air limbah	-3,79
Sumur Pengumpul	-3,79
H Muka air min	-3,79
Elevasi sebelum di pompa	-3,79
Head pompa	6,128
Elevasi Sesudah di pompa	2,338
Muka air akhir unit sumur	2,338
Bak Pengendap I	
Elevasi sebelum BP I	2,338
Hf total	0,011
Muka air akhir unit BP I	2,2
Bak Ekualisasi	
Elevasi sebelum BE	2,2
Hf Saluran	0,131
H statis	2,5

Keterangan	Ketinggian Muka air (mdpl)
H pompa	2,631
Muka air akhir unit Bak Ekualisasi	2,2
MBBR	
Elevasi sebelum MBBR	2,2
Hf Saluran	0,501
H statis	7 m
Hpompa	7,501
Muka air akhir unit MBBR	2,2
Secondary Clarifier	
Elevasi sebelum SC	2,2
Hf Saluran	0,8
Muka air akhir unit SC	1,4

5.3.5 Rekapitulasi Desain IPAL

Berdasarkan perencanaan desain yang telah dilakukan didapatkan spesifikasi unit serta luas lahan IPAL yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Dimensi Unit IPAL

Nama Unit	Jumlah Unit	Spesifikasi
Sumur Pengumpul (Rectangular)	1	Panjang : 2,2 m
		Lebar : 2,2 m
		Tinggi : 6,3 m
		Luas Lahan : 4,84 m ²
Bak Pengendap I (Rectangular)	2	Panjang : 15 m
		Lebar : 3 m
		Tinggi : 5,5 m

Nama Unit	Jumlah Unit	Spesifikasi
Bak Ekualisasi (Rectangular)	1	Luas Lahan : 90 m ²
		Panjang : 12 m
		Lebar : 12 m
		Tinggi : 2,5 m
MBBR BOD (Rectangular)	2	Luas Lahan : 144 m ²
		Panjang : 5 m
		Lebar : 5 m
		Tinggi : 3 m
MBBR Nitrifikasi (Rectangular)	2	Luas Lahan : 25 m ²
		Panjang : 13 m
		Lebar : 13 m
		Tinggi : 5 m
Secondary Clarifier (Circular)	2	Luas Lahan : 169 m ²
		Diameter : 9,5 m
		Tinggi : 7 m
		Luas Lahan : 66,5 m ²
Bak Kontak Klorinasi (Rectangular)	1	Panjang : 8 m
		Lebar : 6 m
		Tinggi : 3 m
		Luas Lahan : 48 m ²
Sludge Holding Tank (Rectangular)	1	Panjang : 7 m
		Lebar : 7 m
		Tinggi : 2 m
		Luas Lahan : 49 m
Total Luas Lahan		596,34 m ²

BAB 6

Bill Of Quantity (BOQ), Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan Analisa Investasi

6.1. Perhitungan *Bill of Quantity* dan Rencana Anggaran Biaya (BOQ dan RAB)

Setelah proses perhitungan desain SPAL dan IPAL selesai, dibutuhkan perhitungan terkait jumlah material yang akan digunakan beserta dengan biaya yang akan dikeluarkan. Untuk rencana anggaran biaya mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2018.

6.1.1. Sistem Penyaluran Air Limbah

A. BOQ

BOQ dari pipa terdiri dari jumlah pipa, volume galian, volume urugan pasir, beserta luasan perkerasan jalan. Hal yang paling awal dilakukan adalah menghitung jumlah pipa yang dibutuhkan. Adapun panjang pipa yang digunakan ialah 6 m sesuai dengan SNI. Contoh perhitungan kebutuhan pipa terdapat dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{L saluran } 4t1 - 4s1 &= 239,97 \text{ m} \\ \text{Panjang pipa} &= 6 \text{ m} \\ \text{N pipa} &= (239,97/6) \text{ m} \\ &= 39,99 \approx 40 \text{ buah} \end{aligned}$$

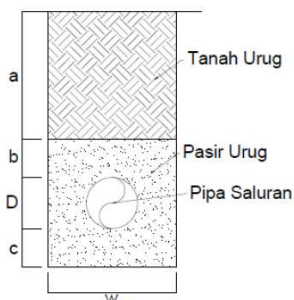
Adapun contoh spreadsheet perhitungan terdapat dibawah ini:

Tabel 6. 1 Contoh Spreadsheet Perhitungan Jumlah Pipa

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
4t1 - 4s1	110	239,97	6	40
4t2 - 4s1	110	179,99	6	30
4t3 - 4t5	110	43,28	6	8
4t4 - 4t5	110	116,74	6	20
4t6 - 4t7	110	115,52	6	20
4t8 - 4t9	110	118,28	6	20

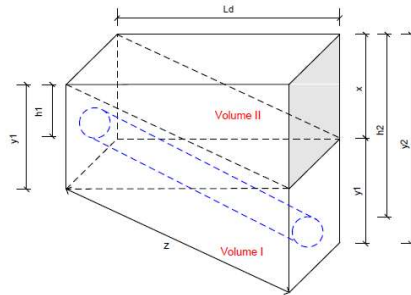
No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
4t5 - 4t7	110	54,27	6	10
4t7 - 4t9	110	54,23	6	10
4t9 - 4s2	110	63,642	6	11
4t10 - 4t23	110	214,57	6	36
4t11 - 4t11b	110	36,33	6	7
4t12 - 4t11b	110	230,66	6	39
4t14 - 4t15	110	226,28	6	38

Langkah berikutnya ialah menentukan jumlah tanah dan pasir yang dibutuhkan saat penanaman pipa. Adapun contoh penanaman pipa dan susunanya terdapat pada gambar dibawah ini:



Gambar 6. 1 Potongan Pipa Penyaluran Air Limbah (Tanpa perkerasan jalan)

Dari gambar yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa “w” merupakan lebar galian, dan diberi jarak sebesar 30 cm dari sisi luar kanan dan kiri pipa. Kemudian pipa ditimbun dengan pasir agar pipa aman terhadap tekanan dari atas, dan diurug lagi dengan tanah yang disimbolkan dengan “a”. Adapun bentuk galian dapat dilihat pada gambar 6.2:



Gambar 6. 2 Galian Pipa Penyaluran Air Limbah

Gambar bentuk galian yang direncanakan merupakan bentuk galian sepanjang pipa SPAL yang dibuat. Perhitungan BOQ untuk galian pipa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{volume galian I} &= [(0,1 \times 2) + D] \times y1 \times z \\
 \text{volume galian II} &= \frac{1}{2} [(0,1 \times 2) + D] \times x \times z \\
 \text{volume galian total} &= \text{v. galian I} + \text{v. galian II} \\
 \text{volume pipa} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times z \\
 \text{volume urugan pasir} &= [(0,1 \times 2) + D] \times (b + D + c) \times z \\
 \text{– volume pipa} & \\
 \text{volume sisa galian} &= \text{volume galian total} - \text{volume urugan} \\
 \text{Dimana:} & \\
 D &= \text{diameter pipa} \\
 h &= \text{kedalaman penanaman pipa} \\
 h1 &= \text{kedalaman penanaman pipa awal} \\
 h2 &= \text{kedalaman penanaman pipa akhir} \\
 y &= \text{kedalaman galian} = h + c \\
 y1 &= \text{kedalaman galian awal} \\
 y2 &= \text{kedalaman galian akhir} \\
 z &=
 \end{aligned}$$

Adapun *spreadsheet* contoh perhitungan galian SPAL terdapat pada tabel 6.2

Tabel 6. 2 Contoh *Spreadsheet* Perhitungan Galian Pipa

No Saluran	Vol. galian total	Vol. pipa	Vol. urugan pasir	Vol. tanah urug	Vol. Sisa tanah galian	Perkerasan Jalan
	m3	m3	m3	m3	m3	m2
Tersier						
4t1 - 4s1	255,57	0,73	79,95	174,89	80,68	170,38
4t2 - 4s1	184,02	0,54	59,97	123,51	60,51	127,79
4t3 - 4t5	40,06	0,13	14,42	25,51	14,55	30,73
4t4 - 4t5	114,12	0,35	38,89	74,87	39,25	82,89
4t6 - 4t7	112,83	0,35	38,49	73,99	38,84	82,02
4t8 - 4t9	115,75	0,36	39,41	75,99	39,77	83,98
4t5 - 4t7	50,65	0,16	18,08	32,41	18,25	38,53
4t7 - 4t9	50,62	0,16	18,07	32,38	18,23	38,50
4t9 - 4s2	59,82	0,19	21,20	38,42	21,40	45,19
4t10 - 4t23	224,65	0,65	71,49	152,51	72,14	152,34
4t11 - 4t11b	33,46	0,11	12,10	21,24	12,21	25,79
4t12 - 4t11b	244,13	0,70	76,85	166,58	77,55	163,77
4t16 -4t17	237,91	0,68	75,15	162,08	75,83	160,15

B. RAB

Setelah BOQ dari pipa telah didapat, maka dapat dicari biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut. Adapun uraian kegiatan yang dilakukan yaitu:

1. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi (24.01.02.07)
2. Pemasangan pipa PVC (24.07.05.14)
3. Pengurugan pasir (PADAT) [24.01.02.15]
4. Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi (24.01.02.13)
5. Lapisan Perkerasan 5-10 cm (padat digilas) [24.08.02.21]
6. Pengangkutan tanah keluar proyek (24.01.02.06)
7. Pengadaan pipa PVC 110-500 mm
8. Pengadaan manhole

Untuk detail HSPK tiap kegiatan terdapat pada lampiran.

Adapun hasil dari perhitungan, biaya yang harus dikeluarkan yaitu sebesar Rp. 23.099.606.967,- dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 6. 3 Rencana Anggaran Biaya SPAL

Uraian Pekerjaan	Jumlah	Harga Satuan	Harga
Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	48.122	Rp114.107	Rp5.491.092.152
Pegurugan Tanah Kembali untuk Konstruksi	33.609	Rp81.818	Rp2.749.796.873
Pengurugan Pasir (PADAT)	14.321	Rp258.043	Rp3.695.511.318
Lapisan Perkerasan 5-10 cm (Padat digilas)	28.091	Rp101.707	Rp2.857.079.888
Pengangkutan Tanah keluar Proyek	14.514	Rp54.099	Rp785.171.487
Pemasangan Pipa PVC	38.397	Rp23.714	Rp910.545.794
Pengadaan Pipa PVC 110 S-12,5 RRJ	4.984	Rp569.300	Rp2.837.391.200
Pengadaan Pipa PVC 140 S-12,5 RRJ	397	Rp979.350	Rp388.801.950
Pengadaan Pipa PVC 160 S-12,5 RRJ	414	Rp1.215.650	Rp503.279.100

Uraian Pekerjaan	Jumlah	Harga Satuan	Harga
Pengadaan Pipa PVC 200 S-12,5 RRJ	192	Rp1.890.000	Rp362.880.000
Pengadaan Pipa PVC 225 S-12,5 RRJ	81	Rp2.540.150	Rp205.752.150
Pengadaan Pipa PVC 250 S-12,5 RRJ	110	Rp2.961.750	Rp325.792.500
Pengadaan Pipa PVC 280 S-12,5 RRJ	229	Rp3.921.450	Rp898.012.050
Pengadaan Pipa PVC 355 S-12,5 RRJ	64	Rp6.048.100	Rp387.078.400
Pengadaan Pipa PVC 400 S-12,5 RRJ	3	Rp7.727.050	Rp23.181.150
Pengadaan Pipa PVC 500 S-12,5 RRJ	27	Rp12.166.550	Rp328.496.850
Manhole (Beton K-250 cast in situ)	922	Rp379.332	Rp349.744.104
TOTAL			Rp23.099.606.967

6.1.2. Instalasi Pengolahan Air Limbah

A. BOQ

BOQ dari IPAL terdiri dari volume beton yang dibutuhkan, volume galian, beserta luasan pemasangan turap. Adapun tahapan pekerjaan untuk setiap unit sudah disesuaikan dengan standar yang dianjurkan oleh PUPR dalam Permen PUPR No. 4 Tahun 2017 mengenai Penyelenggaraan sistem Pengelolaan air Limbah Domestik. Adapun mencari volume galian yaitu dengan menghitung volume bangunan dinding luar, dan untuk menghitung volume beton yang dibutuhkan yaitu mencari selisih antara volume bangunan dinding dalam dengan volume bangunan dinding luar.

- a. Sumur pengumpul

Volume dinding dalam	= 30,492 m ³
Volume dinding luar	= 43,94 m ³
Volume beton	= (43,94 – 30,492) m ³
	= 13,448 m ³
- b. Bak pengendap I
 - Settling zone

- | | | |
|----|----------------------|-------------------------------------|
| | Volume dinding dalam | = 278,44 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 306,65 m ³ |
| | Volume beton | = 28,215 m ³ X 2 |
| | | = 56,43 m ³ |
| - | Zona lumpur | |
| | Volume dinding dalam | = 8,67 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 13,41 m ³ |
| | Volume beton | = 4,74 m ³ X 2 |
| | | = 9,48 m ³ |
| - | Saluran Pembawa | |
| | Volume dinding dalam | = 0,15 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 0,69 m ³ |
| | Volume beton | = 1,54 m ³ X 2 |
| | | = 3,08 m ³ |
| c. | Bak Ekualisasi | |
| | Volume dinding dalam | = 360 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 415,152 m ³ |
| | Volume beton | = (415,152 – 360) m ³ |
| | | = 55,152 m ³ |
| d. | MBBR BOD | |
| | Volume dinding dalam | = 165 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 200,34 m ³ |
| | Volume beton | = (200,34 – 165) m ³ |
| | | = 35,34 m ³ |
| e. | MBBR N | |
| | Volume dinding dalam | = 1791,4 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 1960,42 m ³ |
| | Volume beton | = (1960,42 – 1791,4) m ³ |
| | | = 169,02 m ³ |
| f. | Bak Pengendap II | |
| | Volume dinding dalam | = 495,92 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 553,95 m ³ |
| | Volume beton | = (553,95 – 495,92) m ³ |
| | | = 56,03 m ³ x 2 |
| | | = 116,06 m ³ |
| g. | Bak Kontak Klorinasi | |
| | Volume dinding dalam | = 158,4 m ³ |
| | Volume dinding luar | = 188,16 m ³ |
| | Volume beton | = (188,16 – 158,4) m ³ |

	+ 13,86 m ³
	= 43,62 m ³
<i>h. Sludge Holding Tank</i>	
Volume dinding dalam	= 112,7 m ³
Volume dinding luar	= 136,9 m ³
Volume beton	= (136,9 – 112,7) m ³
	= 24,2 m ³
Volume galian tanah total	= 1860,192 m ³
Volume beton total	= 525,83 m ³

B. RAB

Setelah BOQ dari IPAL telah didapat, maka dapat dicari biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut. Adapun uraian kegiatan yang dilakukan yaitu:

1. Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan (24.01.01.03)
2. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi (24.01.02.07)
3. Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi (24.01.02.13)
4. Pengangkutan tanah dr. Lubang galian dalamnya lebih dari 1 m (24.01.02.04)
5. Pengangkutan tanah keluar proyek (24.01.02.06)
6. Pekerjaan dinding beton bertulang (150 kg besi + bekisting) [24.03.01.28]
7. Pengadaan Biomedial untuk MBBR
8. Pengadaan Blower
9. Pengadaan diffuser
10. Pengadaan pompa celup
11. Pengadaan Pompa penguras lumpur

Untuk detail HSPK tiap kegiatan terdapat pada lampiran. Adapun hasil dari perhitungan, biaya yang harus dikeluarkan yaitu sebesar Rp. 6.192.644.866,- dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 6. 4 Rencana Anggaran Biaya IPAL

Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan	Harga
Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan	m2	6825	Rp23.259	Rp158.742.675
Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m3	1860,192	Rp114.107	Rp212.260.969
Pengangkutan Tanah dr. Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1 m	m3	1860,192	Rp23.252	Rp43.253.193
Pengangkutan Tanah keluar proyek	m3	1860,192	Rp54.099	Rp100.634.546
Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting)	m3	525,8249	Rp6.232.192	Rp3.277.041.569
Pengadaan biomedial untuk MBBR	m3	561,77	Rp3.108.336	Rp1.746.169.915
Pengadaan blower	unit	2	Rp30.000.000	Rp60.000.000
Pengadaan diffuser	unit	500	Rp1.000.000	Rp500.000.000
Pengadaan pompa jet	unit	2	Rp5.000.000	Rp10.000.000
Pengadaan pompa celup	unit	2	Rp18.000.000	Rp36.000.000
Pengadaan pompa penguras lumpur honda	unit	4	Rp21.998.000	Rp87.992.000
Total				Rp6.192.644.866

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan biaya investasi awal (*initial cost*) untuk pengerjaan proyek SPAL dan IPAL

Tabel 6. 5 Total Biaya Investasi (*initial cost*)

No	Jenis Kegiatan	Jumlah Harga(Rp.)
I	Pengadaan SPAL	23.099.606.967
II	Pengadaan IPAL	6.192.644.866
III	3 unit Truk Lumpur	1.108.418.700
Jumlah Biaya		30.400.670.533
PPN 10%		3.040.067.053
Jumlah + PPN		33.440.737.586
Jumlah Total Pembulatan		33.441.000.000

6.1.3. *Operation and Maintenance*

Pada unit – unit pengolahan terdapat beberapa mesin yang bekerja secara kontinyu seperti pompa celup, pompa jet dan blower, dan terdapat pula mesin yang bekerja secara batch seperti pompa lumpur. Untuk tarif listrik digunakan standar non-subsidi yaitu Rp. 1467/kWh. Adapun total energi yang dibutuhkan yaitu

a. Mesin kontinyu

$$\begin{aligned}
 \text{Listrik total} &= \text{Pompa celup} + \text{pompa jet} + \text{Blower} \\
 &= (0,258 + 1,079 + 19) \text{ kWh} \\
 &= 20,337 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 488,088 \text{ kWh} \\
 \text{Pemakaian 1 bulan} &= 488,088 \text{ kWh} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 14.642,64 \text{ kW} \\
 \text{Pemakaian 1 tahun} &= 14.642,64 \text{ kW} \times 12 \\
 &= 175.711,68 \text{ kWh} \\
 \text{Tarif pemakaian listrik} &= 175.711,68 \times \text{Rp. } 1.467 \\
 &= \text{Rp. } 257.769.034/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

b. Mesin batch

$$\begin{aligned}
 \text{Listrik total} &= \text{Pompa lumpur BP1} \\
 &= 0,788 \text{ kWh} \times 0,25 \text{ jam} \times 2 \text{ kali} \\
 &= 0,394 \text{ kW} \\
 \text{Pemakaian 1 bulan} &= 0,394 \text{ kW} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 11,82 \text{ kW} \\
 \text{Pemakaian 1 tahun} &= 11,82 \text{ kW} \times 12 \text{ bulan} \\
 &= 141,84 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tarif pemakaian listrik} &= 141,84 \text{ kW} * \text{Rp } 1.467 \\
 &= \text{Rp. } 208.079 \\
 \text{Total tarif} &= 257.769.034 + 208.079 \\
 &= \text{Rp. } 257.977.113
 \end{aligned}$$

Biaya lainnya yaitu untuk membayar operator IPAL, yang disesuaikan dengan UMR yaitu Rp. 3.585.312 per bulan (dibulatkan menjadi Rp. 4.000.000). Sehingga biaya per tahun yaitu Rp. 48.000.000 (diluar upah progresif seperti bonus dan THR tahunan).

Biaya lainnya yaitu untuk membayar biaya bensin, dimana jarak antara IPAL dengan IPLT Keputih yaitu 7km, dan total perjalanan pulang balik yaitu 14 km. Apabila terdapat 15 kali perjalanan pulang balik maka jarak yang ditempuh yaitu 210 km setiap harinya. Maka total biaya BBM yang dihabiskan yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Asumsi konsumsi BBM Truk} &= 6 \text{ km/l} \\
 \text{Asumsi harga Dexlite} &= \text{Rp } 8.100/\text{liter} \\
 \text{Total biaya harian} &= \frac{210 \text{ km}}{6 \text{ km/l}} \times \text{Rp. } 8.100 \\
 &= \text{Rp. } 289.800 \\
 \text{Total biaya Tahunan} &= \text{Rp. } 289.800 \times 365 \\
 &= \text{Rp. } 105.777.000
 \end{aligned}$$

Biaya lainnya yaitu perawatan alat mekanik dan elektrik, dengan asumsi bahwa setiap 6 bulan sekali diadakan servis, dan tiap servis dikenakan biaya Rp.500.000 rupiah, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya servis} &= \frac{12 \text{ bulan}}{\text{Periode Servis}} \times \text{Npompa} \times \text{Rp}500.000 \\
 &= \frac{12 \text{ bulan}}{6 \text{ bulan}} \times 5 \times \text{Rp}500.000 \\
 &= \text{Rp. } 5.000.000
 \end{aligned}$$

Tabel 6. 6 Total BiayaOM (OM cost)

No	Jenis Kegiatan	Jumlah Harga(Rp.)
I	Gaji Operator	48.000.000
II	Biaya Elektrikal	257.977.113
III	Biaya Mekanikal	5.000.000
IV	Biaya Perjalanan	105.777.000
Jumlah Biaya Operasional		416.754.113
Jumlah Biaya Operasional 30%		125.026.234
Jumlah Total		541.780.347
Jumlah Total Pembulatan		541.781.000

6.1.4. Biaya Depresiasi

Biaya depresiasi atau biaya penyusutan merupakan biaya yang dikeluarkan akibat berkurangnya nilai suatu barang setelah melalui suatu periode tertentu (sesuai dengan umur fisik mesin). Adapun biaya depresiasi dihitung menggunakan metode garis lurus, dengan rumus

$$D = \frac{(P-L)}{n} \dots\dots\dots (6.1)$$

Dimana:

- D = Dana depresiasi untuk setiap tahun (Rp.)
- P = Harga awal mesin (Rp.)
- L = Harga akhir mesin (Rp.)
- n = Umur pakai mesin (tahun)

Untuk nilai residu diasumsikan sebesar 10% dari awal harga beli, dan umur fisik setiap mesin (seluruh pompa dan blower) diasumsikan 5 tahun. Adapun biaya depresiasi per tahun yang akan dikeluarkan yaitu:

$$\begin{aligned} D &= \frac{\text{Ptotal (Biaya mesin)}-L}{n} \\ &= \frac{\text{Rp. (60.000.000 + 10.000.000 + 36.000.000 + 87.992.000)}-10\%P}{5 \text{ Tahun}} \\ &= \frac{\text{Rp. 193.992.000}-10\%P}{5 \text{ Tahun}} \\ &= \text{Rp.34.918.560} \end{aligned}$$

Biaya depresiasi untuk mesin berdasarkan perhitungan yaitu Rp. 34.918.560 per tahun (digenapkan menjadi Rp. 35.000.000)

6.1.5. Biaya Retribusi

Biaya retribusi ditentukan berdasarkan periode pengembalian pembayaran (*Pay Back Periode*), dan ditentukan *payback periode* disesuaikan dengan umur perencanaan yaitu 20 tahun. Sehingga, dapat diperoleh biaya retribusi (tanpa pengolongan konsumen, dan tidak ada subsidi) yang dibebankan yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Biaya retribusi} &= \frac{\text{Initial Cost} + \text{Annual Cost}}{\text{payback period} \times \text{jumlah KK}} \\ &= \frac{\text{Initial Cost} + [(\text{OM Cost} + \text{Depreciation Cost}) \times \text{pbp}]}{\text{payback period}} \\ &= \frac{\text{Rp. (33.441.000.000)} + \text{Rp. [(541.781.000 + 34.918.560) \times 20 \text{ tahun}]}{20 \text{ tahun}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Rp. } 33.441.000.000 + \text{Rp. } 11.535.620.000}{20 \text{ tahun}} \\
 &= \frac{\text{Rp. } 44.986.620.000}{20 \text{ tahun}} \\
 &= \text{Rp. } 2.249.331.000 \text{ per tahun atau Rp. } 187.444.250 \text{ per bulan}
 \end{aligned}$$

Adapun jumlah KK yang dilayani yaitu 4000 rumah, sehingga pembebanan biaya per rumah tanpa penggolongan yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya per rumah} &= \frac{\text{Biaya retribusi total}}{\text{Jumlah KK}} \\
 &= \frac{\text{Rp. } 187.444.250}{4000 \text{ KK}} \\
 &= \text{Rp. } 46.861 \approx \text{Rp. } 47.000 \\
 \text{Cash inflow per tahun} &= \text{Rp. } 41.000 \times 4000 \text{ kk} \times 12 \text{ bln} \\
 &= \text{Rp. } 2.256.000.000
 \end{aligned}$$

6.1.6. Biaya SR

Biaya pembuatan interseptor air limbah serta koneksi pipa persil dibebankan langsung ke setiap sambungan rumah, karena perbedaan letak tangki septik dan komponen rumah seperti keramik. Dalam pekerjaan pengadaan interseptor, dapat menghabiskan biaya (per 1m³ air limbah)

Tabel 6. 7 Total Biaya Sambungan Rumah

Uraian Pekerjaan	Unit	@	Harga Satuan (rb)	Harga (rb)
Pekerjaan Beton K-250	m ³	0,7	Rp1.122.433	Rp785.700
Pengadaan Pipa PCV 110	unit	1	Rp569.300	Rp569.300
Total				Rp1.355.000
Total Pembulatan				Rp1.360.000

6.2. Analisis Kelayakan Keuangan

Analisis kelayakan keuangan dilakukan untuk mengetahui apakah kegiatan yang dilaksanakan dari segi keuangan dinilai layak. Berdasarkan Permen PUPR No. 4 Tahun 2017, suatu investasi layak apabila apabila hasil perhitungan minimal sama dengan batasan kelayakan yang ditetapkan, yaitu waktu

pengembalian pembayaran sesuai dengan yang ditargetkan serta Nilai Keuangan Kini Bersih (*Net Present Value/NPV*) tidak negatif.

6.2.1. Analisis *Payback Period*

Analisis *payback period* mengharuskan jangka waktu pengembalian minimal sama dengan jumlah tahun yang direncanakan untuk IPAL, yaitu jangka waktu 20 tahun. Adapun periode pengembalian pembayaran yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Payback Period} &= \frac{\text{Total investment}}{\text{Cash Inflow}} \\ &= \frac{\text{Rp. 44.986.620.000}}{\text{Rp. 2.256.000.000/tahun}} \\ &= 19 \text{ tahun } 11 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Dapat dilihat bahwa jangka waktu pengembalian lebih cepat 1 bulan dibanding jangka waktu yang direncanakan. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa proyek layak keuangan berdasarkan analisa *Payback Period*

6.2.2. Analisis *Net Present Value*

Analisis FNPV merupakan selisih dari investasi sekarang dengan nilai penerimaan kas bersih di masa yang akan datang. Rumus perhitungan NPV yaitu

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{Bt-Ct}{(1+i)^t} \dots\dots\dots (6.2)$$

Dimana:

Bt = Keuntungan pada tahun ke-t

Ct = Biaya pada tahun ke-t

I = Tingkat suku bunga (%)

t = Periode Investasi

n = umur proyek

Adapun dalam perhitungan NPV menggunakan diskonto (*discount factor*) agar mendapatkan nilai *Present Worth Factor* (P/F), dimana garis bawah penggunaan nilai diskonto mengacu pada Rate Bank Indonesia per Maret 2018 yaitu 4,25% (dibulatkan menjadi 4,5%). Perhitungan NPV dapat dilihat pada lampiran dengan hasil NPV sebesar -Rp9.580.589.170, dan didapatkan kesimpulan bahwa proyek tidak layak. Adapun solusi yang ditawarkan yaitu berupa subsidi dengan biaya investasi awal sepenuhnya ditanggung oleh pemerintah, sedangkan untuk biaya tahunan ditanggung oleh tiap sambungan rumah. Setelah

penyesuaian perhitungan dengan nilai investasi yang akan ditanggung per rumah ditiadakan, didapatkan bahwa NPV sebesar Rp. 570.017.030 dengan retribusi per rumah yaitu Rp. 13.000 tanpa penggolongan konsumen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 7

Standar Operasional Prosedur (SOP) dan Sistem Tanggap Darurat

7.1. Standar Operasional Prosedur (SOP)

7.1.1. Sistem Penyaluran Air limbah

A. Pengoperasian

1. Pengoperasian jaringan pipa retikulasi dan pipa induk air limbah domestik.

Pengoperasian jaringan pipa pengumpulan air limbah domestik yang harus diperhatikan yaitu kondisi pengaliran air limbah domestik. Ketersediaan air penggelontor kecil menyebabkan transportasi tinja dalam pipa tidak dapat berlangsung baik, melainkan sebagian mengendap, tertinggal dan melekat pada dasar saluran.

2. Pengoperasian Lubang Kontrol (Manhole/Drop Manhole)

Pengoperasian untuk menjamin akibat penyumbatan oleh sampah yang masuk ke jaringan pipa, maka manhole harus dijaga. Hal yang perlu diperhatikan sebagai berikut, lubang udara (vent) yang terdapat pada tutup manhole dijaga agar tidak tersumbat untuk mempertahankan sirkulasi udara pada jaringan pengumpul, menjaga tutup manhole selalu tertutup dan dikunci, menjaga tidak terjadi kebocoran di area manhole.

3. Pengoperasian Siphon

Aliran air limbah secara kontinu untuk menghindari adanya endapan pada siphon; pemeriksaan berkala terhadap ketebalan endapan pada sand trap bangunan siphon agar tidak mengganggu aliran air limbah; dan memastikan tidak ada sampah/lemak yang menyebabkan tersumbatnya aliran air limbah.

B. Pemeliharaan

1. Jaringan Perpipaan

Updating gambar sistem jaringan pipa yang menunjukkan arah aliran, lokasi dan tata letak manhole, sambungan rumah dan fasilitas lainnya, serta kemiringan pipa. Inventarisasi bagian jalur pipa yang sering mengalami gangguan. Analisis

dan pengecekan tingkat keberhasilan perbaikan yang telah dilaksanakan. perencanaan dan penjadwalan perencanaan operasi untuk memperkecil gangguan dan koreksi hal yang tidak efisien; dan penempatan tenaga cakap dan terampil, agar sistem dipelihara dengan baik sebelum terjadi permasalahan atau bahkan kerusakan berat.

2. Manhole

Manhole harus terbuat dari beton pracetak atau jenis beton lain dan harus tahan air. Inlet dan outlet pipa harus disambung ke lubang saluran dengan koneksi yang fleksibel dan kedap air. Penutup manhole yang kedap air harus digunakan ketika kondisi atas manhole rawan terjadi banjir.

3. Drop Manhole

Drop manhole harus terbuat dari beton pracetak atau jenis beton lain dan harus tahan air. Inlet dan outlet pipa harus disambung ke lubang saluran dengan koneksi yang fleksibel dan kedap air. Manhole harus dijaga agar tidak terumbat oleh sampah. Kondisi aliran air limbah di dalam pipa harus diperhatikan agar air limbah mengalir melewati drop manhole dan berjalan normal tanpa ada hambatan, maka dilakukan pembersihan secara berkala.

7.1.2. IPAL

Pengoperasian

1. Bak Pengendap I

- Akumulasi padatan yang tersuspensi pada bak pengendapan, padatan yang terkumpul perlu dikuras secara berkala, dan/atau padatan yang telah dikuras dapat dipindahkan ke bak pengering lumpur.
- Pompa lumpur dihidupkan sesuai periode yang telah ditentukan setiap harinya.
- Penyaluran lumpur ke kolam pengering lumpur diperiksa apakah telah tersalur dengan baik.
- Ketinggian muka air dalam bak diamati apakah sesuai yang direncanakan.
- Aliran dalam bak diperhatikan apakah merata, atau ada bagian yang terlalu lambat/cepat. Bilamana ada aliran tidak merata, maka hal ini merupakan indikasi adanya pembebanan yang tidak merata pada seluruh bidang bak

2. Bak Pengendap II

- Endapan/ lumpur pada kolam ini dipompa setiap hari dan diresirkulasikan ke bak pengendapan awal dan sebagian dibuang dengan jumlah lumpur buangan yang sesuai dengan produksi lumpur yang direncanakan sesuai dengan umur lumpurnya (*sludge age*).

3. Pengolahan Unit Biologis

- Debit masuk dan debit keluar diukur dan dicatat setiap bulan, kondisi debit dapat mengindikasikan kondisi akumulasi padatan pada tangki.
- Kondisi lapisan buih (*scum*) dan alga yang terbentuk perlu dibersihkan sesuai dengan jadwal dan SOP.
- Pengukuran beban organik seperti COD, BOD, TSS dan pH pada inlet unit pengolahan biologis, dianjurkan untuk dilaksanakan setiap hari.
- Kondisi ini terjadi apabila bakteri tidak dapat mengatasi beban organik yang terdapat dalam air limbah. Jika terjadi *overloading*, maka nilai pemeriksaan COD, BOD dan SS effluen akan meningkat, maka perlu dilaksanakan pengambilan sampel air limbah domestik pada unit pengolahan biologis untuk memeriksa apakah rasio kebutuhan mikroorganisme di dalam unit sudah sesuai atau masih kurang. Jika rasio mikroorganisme cukup, berarti ada sebab lain yang mengakibatkan *overloading*, pengelola perlu menelusuri dan memastikan penyebab *overloading* tersebut.
- Air limbah hasil olahan perlu diperiksa secara berkala, untuk memastikan pengolahan air limbah domestik berlangsung sesuai dengan rencana dan air limbah hasil olahan sesuai dengan baku mutu air limbah domestik, disarankan untuk dilaksanakan setiap hari
- Pengoperasian unit MBBR hampir sama dengan Unit Lumpur Aktif, sebab MBBR pada prinsipnya merupakan ASP yang telah dimodifikasi. Perbedaannya yaitu tidak perlu melakukan pengembalian lumpur dan tidak perlu mengatur F/M ratio yang terdapat pada reaktor. Selain itu, terdapat ribuan *biofilm* di dalam reaktor yang diaerasi secara kontinu untuk tempat pertumbuhan mikroorganisme yang terdapat dalam reaktor.

Pengoperasian MBBR agar dapat berjalan dengan baik harus mengikuti prosedur yang telah dibuat pabrik pembuatnya

Pemeliharaan

1. Sumur Pengumpul

Pemeliharaan yang dapat dilakukan untuk sumur pengumpul antara lain, kebocoran agar selalu dipantau tinggi permukaan air melalui alat pemeriksaan *water level*. Selain itu memantau tingkat kebocoran, dengan mengetahui tinggi muka air dalam sumur pengumpul bisa melakukan pengecekan debit limbah. Periksa inlet dan outlet pipa untuk memastikan air limbah domestik mengalir secara kontinu. Secara berkala, bersihkan endapan lumpur yang terdapat di dalam sumur pengumpul. Serta perlu dilakukan pemantauan kualitas influen air limbah.

2. Bak Pengendap I

Pemeliharaan rutin yang paling penting adalah pembersihan luapan pelimpah (*weir*) setiap hari dan hasil penyapuan (*scrappings*) setiap mingguan dan membersihkan dinding. Secara berkala perlu dilakukan pemeriksaan peralatan yang sudah terkorosi. Berikut ini beberapa langkah pemeliharaan rutin yang dapat dilakukan di Bak Pengendapan I, yaitu:

- Periksa dan bersihkan area disekitar Bak Pengendapan I dari kotoran.
- Periksa dan bersihkan permukaan air padabak dari kotoran yang mungkin tidak tertahan saringan.
- Periksa dan bersihkan inlet dan outlet dari kotoran yang mungkin menyumbat.
- Periksa dan bersihkan area di sekitar Bak Pengendapan I dari tanaman liar.
- Periksa konstruksi bangunan dari kerusakan yang mungkin terjadi.
- Periksa dan bersihkan Bak Pengendapan I dari pertumbuhan lumut dan tanaman air lainnya.
- Lakukan pembuangan endapan lumpur yang terkumpul pada hopper secara berkala.
- Periksa dan bersihkan katup pembuangan lumpur serta peralatan lainnya, apabila perlu ulir katup diberi gemuk.

A. Komponen Bak Pengendapan I

Pemeliharaan pada komponen Bak Pengendapan I antara lain:

- Pemeliharaan Saluran Inlet/Outlet
Saluran terbuka harus selalu dibersihkan dari endapan lumpur dan sampah agar aliran lancar dan tidak terganggu. Demikian dengan alat ukur pada saluran dijaga kebersihannya agar aliran air lancar. Hubungan antara saluran dan bak selalu diamati terutama apabila terjadi kebocoran.
- Bak Pembagi
Dinding bak dibersihkan dari lumut yang tumbuh dan endapan lumpur dibuang secara rutin, karena endapan lumpur dapat mengakibatkan beban permukaan bak tidak merata pada bak sedimentasi.
- Bak Lumpur
Bak lumpur direncanakan untuk menampung volume lumpur dalam jumlah tertentu, maka dilakukan pemeliharaan agar lumpur yang sudah mengendap tidak mempengaruhi proses pengendapan.

3. Bak Pengendap II

Pemeliharaan Bak Pengendapan II sama halnya dengan pemeliharaan Bak Pengendapan I. Kegiatan pemeliharaan, meliputi: pemeriksaan dan pembersihan plat pengendapan dengan menyemprotkan air, pemeriksaan kebocoran, fungsi pipa dan katup penguras lumpur; pemeriksaan dan pembersihan kotoran serta busa yang mengapung diatas permukaan air.

4. Pengolahan Unit Biologis

Pemeliharaan peralatan MBBR perlumemperhatikan prosedur atau petunjuk dari pabrik pembuatnya. Pompa, katup, media (biomedia) dan aerator yaitu peralatan mekanis yang perlu dirawat dengan baik sesuai prosedur dari pabrik. Bersihkan dinding reaktor secara berkala agar proses aerasi di dalam MBBR berlangsung dengan baik dan tidak ada lumut yang menempel di dinding kolam. Selain itu, perlu dilakukan penggantian biofilm secara berkala sesuai manual dari pabrik atau ketika kondisi biofil telah jenuh, agar proses pengolahannya tidak terganggu dan efisiensinya tetap tinggi.

7.2. Sistem Tanggap Darurat

Pengoperasian dan pemeliharaan IPAL pada fasilitas pelayanan kesehatan dapat menyebabkan resiko baik berupa kecelakaan kerja, kesehatan kerja dan resiko kerugian ekonomi. Hal ini disebabkan dalam pengoperasian dan pemeliharaan IPAL akan melakukan tindakan kerja, menggunakan bahan berbahaya dan beracun seperti minyak, bahan kimia dll. Untuk itu, pada bangunan dan area lokasi IPAL serta manajemen pengelolaannya perlu dilengkapi dengan sistem tanggap darurat yang berguna untuk meminimalisir resiko yang timbul.

Sistem tanggap darurat yang perlu dilengkapi meliputi :

1. Sistem keamanan fasilitas

Untuk memenuhi sistem keamanan fasilitas ini, maka IPAL perlu :

- Memiliki sistem penjagaan 24 jam
- Mempunyai pagar pengaman atau penghalang lain yang memadai
- Mempunyai tanda (sign-sign) yang mudah terlihat dari jarak 10 meter
- Mempunyai penerangan yang memadai disekitar lokasi

2. Sistem pencegahan terhadap kebakaran

Kebakaran pada pengoperasian IPAL sering kali terjadi disebabkan oleh konslet arus listrik akibat pemilihan instalasi yang tidak berkualitas, kerusakan akibat gigitan tikus, tumpahan bahan bakar dll. Untuk itu, dalam bangunan IPAL perlu :

- Memasang sistem arde (Electronic-Spark Grounding)
- Memasang tanda peringatan dari jarak 10 meter
- Memasang peralatan pendeteksi bahaya kebakaran otomatis selama 24 jam
- Tersedia alat pemadam kebakaran
- Jarak antara bangunan yang memadai bagi kendaraan pemadam kebakaran

3. Sistem penanggulangan keadaan darurat

Kejadian darurat dalam pengoperasian dan pemeliharaan IPAL terjadi secara tiba-tiba. Untuk itu, maka guna mencegah dan meminimalisir dampak yang terjadi, perlu dilakukan hal-hal sbb :

- Ada Petugas (koordinator) penanggulangan keadaan darurat IPAL
 - Jaringan komunikasi atau pemberitahuan kepada :
 - Tim penanggulangan keadaan darurat RS (Pos Satpam)
 - Dinas pemadam kebakaran setempat
 - Pelayanan kesehatan darurat (IGD)
 - Memiliki prosedur evakuasi
 - Mempunyai peralatan penanggulangan keadaan darurat
4. Sistem pengujian peralatan
- Pengoperasian peralatan mekanikal dan elektrik IPAL akan menghadapi gangguan sistem akibat kerusakan peralatan yang tidak terkontrol pemeliharaannya. Untuk itu perlu dilakukan upaya sbb :
- Semua alat pengukur, peralatan operasi pengolahan dan perlengkapan pendukung operasi harus diuji minimum sekali dalam setahun
 - Hasil pengujian harus dituangkan dalam berita acara
5. Pelatihan karyawan
- Reaksi cepat dan tepat perlu diterapkan dalam pengoperasian IPAL guna untuk mencegah dan mengendalikan dampak akibat keadaan darurat IPAL. Peran operator dalam kondisi ini akan menempati posisi strategis. Untuk itu, maka terhadap operator IPAL perlu dibekali pengetahuana melalui pelatihan sbb :
- Pelatihan dasar : seperti pengenalan limbah, peralatan pelindung, keadaan darurat, prosedur inspeksi, P3K, K3 dan peraturan perundangan limbah B3
 - Pelatihan khusus : seperti pemeliharaan peralatan, pengoperasian alat pengolahan, laboratorium lingkungan , dokumentasi dan pelaporan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”.

BAB 8

KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari perencanaan ini adalah :

1. Diameter pipa SPAL yang digunakan pada wilayah perencanaan berdiameter paling kecil 110 mm dan paling besar 500 mm. Jalur pipa terpanjang yaitu 2110 m, dan total panjang jalur pipa yaitu 38,39 Km.
2. Luas wilayah yang digunakan untuk seluruh unit IPAL yaitu 596,4 m². Unit yang digunakan antara lain Sumur pengumpul, Bak pengendap 1, Bak Ekualisasi, MBBR BOD, MBBR Nitifikasi, *Clarifier*, Bak Kontak Klorinasi, dan *Sludge Holding Tank*.
3. Biaya Investasi (*initial cost*) untuk proyek yang meliputi SPAL dan IPAL yaitu sebesar Rp. 33.441.000.000.
4. Biaya tahunan (*annual cost*) untuk proyek yang meliputi SPAL dan IPAL yaitu sebesar Rp. 576.700.000.
5. Retribusi yang dikenakan untuk tiap rumah tanpa penggolongan yaitu Rp.13.000 dengan nilai NPV sebesar Rp. 570.017.030 untuk 20 tahun operasi.

8.2. Saran

1. Adanya subsidi dari pemerintah agar mengurangi beban masyarakat dalam membayar
2. Adanya penelitian mengenai volume pemakaian air dan kualitas air limbah influen per jamnya agar perencanaan lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Agustira, R., Kemala, S.L. dan Jamilah. 2013. Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air dan Debit Sungai pada Kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka. *Jurnal Online Agroekoteknologi* Vol. 1 (3).
- Asmadi dan Suharno. 2012. *Dasar – Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Sleman : Gosyen Publishing.
- Badan Pusat Statistik. 2017. Kota Surabaya Dalam Angka.Surabaya : Badan Pusat Statistik.
- Buchanan, J. R. dan Seabloom, R. W. 2004. *Aerobic Treatment of Wastewater and Aerobic Treatment Units*. University of Arkansas, Fayetteville, AR.
- Darsono, V. 1995. *Pengantar ilmu Lingkungan*. Yogyakarta: Penerbitan Universitas Atma Jaya.
- Dinas Pekerjaan Umum. 1996. *Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya*.
- Doran, M. 2008. *Wastewater and Wastewater Treatment Very Basic*. Techknowledge.
- Fajarwati, A. 2000. *Perencanaan Sistem Penyaluran Air Buangan Domestik Kota Palembang (Studi Kasus : Kecamatan Ilir Timur 1 dan Kecamatan Ilir Timur II)*. ITB.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Halling-Sørensen, B. dan Jørgensen, S.E. 1993. *The Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater*. London : Elsevier.
- Hardjosuprpto,dan Masduki, M. 2000. *Penyaluran Air Buangan (PAB) Volume II*. Bandung: Institut Teknologi bandung.
- Health Research Inc. 2014. *Recommended Standards For Wastewater Facilities*. Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers
- Hoelman, M.B., Parhusip, B.T., dan Eko, S. 2015. *Panduan SDGs Untuk Pemerintah Daerah (Kota dan Kabupaten) dan Pemangku Kepentingan Daerah*. Jakarta : INFID
- Imam, E. H. 2014. *Design Flow Factors for Sewerage Systems in Small Arid Communities*. *Journal of Advanced Research*, Vol 5(5):537-542.

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.68.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2016. Buku 3 SPAL domestik-terpusat skala pemukiman. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. Peraturan Menteri PUPR No.4
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional. 2014. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2015 – 2019.
- Koul, A. dan John, S. 2015. Comparative Evaluation Of Sewage Treatment Plants : A Novel Approach. International Journal Of Current Engineering And Scientific Research (IJCESR), Vol.2 (7)
- Lier, J.B., Mahmoud N., dan Zeeman, G. 2008. Biological Wastewater Treatment : Principles Modelling and Design. UK : IWA Publishing.
- Loupasaki, E. dan Diamadopoulos, E. 2012. Attached Growth Systems For Wastewater Treatment in Small and Rural Communities : A review. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Vol. 88 (2):190-204
- Mangkoedihardjo, S., dan Samudro, Ganjar. 2010. Review on BOD, COD, and BOD/COD Ratio : A Triangle Zone For Toxic, Biodegradable, and Stable Levels. International Journal of Academic Research, Vol. 2 (4)
- Mara, D. 2003. Domestic Wastewater Treatment In Developing Countries. London : Earthscan.
- Metcalf & Eddy. 2014. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. New York : Mc-GrawHill Education.
- Mittal, A. 2011. Biological Wastewater Treatment. Water Today.
- Moertinah, S. 2010. Kajian Proses Anaerobik sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi. Jurnal Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (TPPI) Vol 1 (2):104-114.
- Naibaho, P.M. 1996. Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Medan: Pusan Penelitian Kelapa Sawit.
- Otis, Richard, J., dan Mara, D. 1985. The Design Of Small Bore Sewer Systems. Washington : The World Bank.

- Pemerintah Kota Surabaya. 2016. Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2016.
- Said, N.I., dan Marsidi, R. 2005. Mikroorganisme Patogen dan Parasit Di Dalam Air Limbah Domestik Serta Alternatif Teknologi Pengolahan. *Jurnal Air Indonesia* Vol. 1(1).
- Sari N. R., dan Sunarto, W. 2015. Analisis Komparasi Kualitas Air Limbah Domestik berdasarkan Parameter Biologi, Fisika, dan Kimia di IPAL Semanggi dan IPAL Mojosongo Surakarta. *Jurnal EKOSAINS* Vol. 7 (2).
- Schultz, T. E. 2005. *Biotreating Process Wastewater: Airing The Options*. Access Intelligence, LLC.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar pengolahan air limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Tchobanoglous G., Burton F. L., dan Stensel H.D., 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill Companies.
- United States Environmental Protection Agency. 1980. *Design Manual : Onsite Wastewater Treatment and Disposal System*.
- Wahjuningsih, E. 2002. Substrat Khromogenik-Fluorogenik Pada Uji Cemar Koli dalam Air. *Unitas*, Vol. 9 (2):44-56.
- Widayat, W., Suprihatin, dan Herlambang, A. 2010. Penyisihan Amoniak Dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Air Baku PDAM-IPA Bojong Renged Dengan Proses Biofiltrasi Menggunakan Media Plastik Tipe Sarang Tawon. *Jurnal Air Indonesia* Vol.6 (1).
- Wilkie, A. C. 2005. *Anaerobic Digestion : Biology and Benefits. Dairy Manure Management: Treatment, Handling, and Community Relations*, NRAES Vol.176:63-72.
- Winarno, F.G., dan Fardiaz, J.M. 1977. *Populasi dan Analisa Air*. Bogor: Departemen Teknologi. Hasil Pertanian Fameta IPB.

LAMPIRAN 1
PERHITUNGAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH
 Lampiran 1. 1 *Spreadsheet* perhitungan beban pipa tersier

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
4t1 - 4s1	11	0,00009	0,00001	0,00010
4t2 - 4s1	16	0,00013	0,00002	0,00014
4t3 - 4t5	4	0,00003	0,00000	0,00004
4t4 - 4t5	13	0,00010	0,00001	0,00012
4t6 - 4t7	12	0,00010	0,00001	0,00011
4t8 - 4t9	15	0,00012	0,00001	0,00013
4t5 - 4t7	21	0,00017	0,00002	0,00019
4t7 - 4t9	34	0,00027	0,00004	0,00030
4t9 - 4s2	53	0,00043	0,00007	0,00047
4t10 - 4t23	14	0,00011	0,00001	0,00013
4t11 - 4t11b	5	0,00004	0,00000	0,00004
4t12 - 4t11b	28	0,00023	0,00003	0,00025

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
4t14 - 4t15	22	0,00018	0,00002	0,00020
4t16 - 4t17	28	0,00023	0,00003	0,00025
4t18 - 4t19	29	0,00023	0,00003	0,00026
4t13 - 4t21	14	0,00011	0,00001	0,00013
4t20 - 4t21	9	0,00007	0,00001	0,00008
4t21 - 4t22	37	0,00030	0,00004	0,00033
4t11b - 4t15	35	0,00028	0,00004	0,00031
4t15 - 4t17	59	0,00048	0,00007	0,00053
4t17 - 4t19	89	0,00072	0,00012	0,00079
4t19 - 4t22	118	0,00095	0,00017	0,00105
4t22 - 4t23	155	0,00125	0,00024	0,00138
4t23 - 4t25	169	0,00136	0,00026	0,00151
4t24 - 4t25		0,00074	0,00000	0,00083
4t25 - 4s3	178	0,00218	0,00043	0,00242
4t26 - 4s4	25	0,00020	0,00003	0,00022

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
4t27 - 4t29	11	0,00009	0,00001	0,00010
4t28 - 4t29	10	0,00008	0,00001	0,00009
4t29 - 4t35	35	0,00028	0,00004	0,00031
4t30 - 4t32	31	0,00025	0,00003	0,00028
4t31 - 4t32	24	0,00019	0,00003	0,00021
4t33 - 4t34	22	0,00018	0,00002	0,00020
4t32 - 4t34	57	0,00046	0,00007	0,00051
4t34 - 4t35	81	0,00065	0,00011	0,00072
4t35 - 4t37	116	0,00093	0,00017	0,00104
4t36 - 4t37	10	0,00008	0,00001	0,00009
4t38 - 4t40	20	0,00016	0,00002	0,00018
4t39 - 4t40	15	0,00012	0,00001	0,00013
4t41 - 4t42	21	0,00017	0,00002	0,00019
4t37 - 4t43	136	0,00110	0,00020	0,00121
4t40 - 4t42	37	0,00030	0,00004	0,00033

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
4t42 - 4t43	61	0,00049	0,00008	0,00054
4t52 - 4t53	9	0,00007	0,00001	0,00008
4t44 - 4t53	22	0,00018	0,00002	0,00020
4t45 - 4t47	4	0,00003	0,00000	0,00004
4t46 - 4t47	20	0,00016	0,00002	0,00018
4t50 - 4t51	23	0,00019	0,00002	0,00021
4t48 - 4t49	17	0,00014	0,00002	0,00015
4t47 - 4t49	26	0,00021	0,00003	0,00023
4t49 - 4t51	45	0,00036	0,00005	0,00040
4t51 - Ap7	68	0,00055	0,00009	0,00061
4t53 - Ap6	31	0,00025	0,00003	0,00028
4t43 - 4s5	200	0,00161	0,00032	0,00179
4t54 - 4s6	10	0,00008	0,00001	0,00009
4t55 - 4t57	3	0,00002	0,00000	0,00003
4t56 - 4t57	18	0,00015	0,00002	0,00016
4t58 - 4t59	21	0,00017	0,00002	0,00019

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
4t60 - 4t61	9	0,00007	0,00001	0,00008
4t57 - 4t59	24	0,00019	0,00003	0,00021
4t59 - 4t61	47	0,00038	0,00006	0,00042
4t61 - 4s7	56	0,00045	0,00007	0,00050
3t1 - 3t5	21	0,00017	0,00002	0,00019
3t2 - 3t4	22	0,00018	0,00002	0,00020
3t3 - 3t4	15	0,00012	0,00001	0,00013
3t4 - 3t5	41	0,00033	0,00005	0,00037
3t5 - 3s1	66	0,00053	0,00009	0,00059
3t1a - 3s1	8	0,00006	0,00001	0,00007
3t6 - 3s2	11	0,00009	0,00001	0,00010
3t8 - 3t10	10	0,00008	0,00001	0,00009
3t7 - 3t10	22	0,00018	0,00002	0,00020
3t10 - 3t23	52	0,00042	0,00006	0,00046
3t9 - 3t12	14	0,00011	0,00001	0,00013
3t11 - 3t12	13	0,00010	0,00001	0,00012

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
3t13 - 3t15	3	0,00002	0,00000	0,00003
3t14 - 3t15	10	0,00008	0,00001	0,00009
3t16 - 3t17	18	0,00015	0,00002	0,00016
3t18 - 3t19	18	0,00015	0,00002	0,00016
3t12 - 3t20	37	0,00030	0,00004	0,00033
3t15 - 3t17	15	0,00012	0,00001	0,00013
3t17 - 3t19	36	0,00029	0,00004	0,00032
3t19 - 3t20	57	0,00046	0,00007	0,00051
3t20 - 3t22	97	0,00078	0,00014	0,00087
3t21 - 3t22	9	0,00007	0,00001	0,00008
3t21a - 3t22a	9	0,00009	0,00001	0,00009
3t22 - 3t22a	108	0,00087	0,00015	0,00096
3t22a - 3t23	117	0,00181	0,00033	0,00201
3t23 - 3s3	169	0,00223	0,00043	0,00247
3t24 - 3t25	15	0,00012	0,00001	0,00013
3t27 - 3t33	16	0,00013	0,00002	0,00014

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah	Q min	Qpeak
		m ³ /detik	m ³ /detik	m ³ /detik
3t35 - 3t34	11	0,00009	0,00001	0,00010
3t28 - 3t30	3	0,00002	0,00000	0,00003
3t29 - 3t30	4	0,00003	0,00000	0,00004
3t30 - 3t32	11	0,00009	0,00001	0,00010
3t31 - 3t32	14	0,00011	0,00001	0,00013
3t32 - 3t33	28	0,00023	0,00003	0,00025
3t33 - 3t34	48	0,00039	0,00006	0,00043
3t34 - 3t25	59	0,00048	0,00007	0,00053
3t25b - 3t25a	6	0,00005	0,00000	0,00005
3t25 - 3t25a	74	0,00060	0,00010	0,00066
3t25a - 3t26	91	0,00073	0,00013	0,00081
3t41 - 3t26	5	0,00004	0,00000	0,00004
3t26 - 3s4	105	0,00085	0,00015	0,00094
3t36 - 3t40	9	0,00007	0,00001	0,00008
3t37 - 3t39	21	0,00017	0,00002	0,00019
3t38 - 3t39	17	0,00014	0,00002	0,00015

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
3t39 - 3t40	40	0,00032	0,00005	0,00036
3t40 - 3t40a	61	0,00049	0,00008	0,00054
3t40b - 3t40a	8	0,00010	0,00001	0,00011
3t40a - 3t43	80	0,00068	0,00011	0,00075
3t42 - 3t43	11	0,00009	0,00001	0,00010
3t44 - 3t45	21	0,00017	0,00002	0,00019
3t46 - 3t47	25	0,00020	0,00003	0,00022
3t43 - 3t45	91	0,00077	0,00013	0,00085
3t45 - 3t47	112	0,00094	0,00017	0,00104
3t47 - 3s5	137	0,00114	0,00021	0,00126
3t48 - 3t50	5	0,00004	0,00000	0,00004
3t49 - 3t50	14	0,00011	0,00001	0,00013
3t51 - 3t52	7	0,00006	0,00001	0,00006
3t53 - 3t54	11	0,00009	0,00001	0,00010
3t50 - 3t52	27	0,00022	0,00003	0,00024
3t52 - 3t54	40	0,00032	0,00005	0,00036

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
3t54b - 3t54a	8	0,00006	0,00001	0,00007
3t54 - 3t54a	53	0,00043	0,00007	0,00047
3t54a - 3t56	66	0,00053	0,00009	0,00059
3t55 - 3t56	9	0,00007	0,00001	0,00008
3t56 - 3t56a	75	0,00060	0,00010	0,00067
3t56b - 3t56a	7	0,00006	0,00001	0,00006
3t56a - 3t58	82	0,00066	0,00011	0,00073
3t57 - 3t58	8	0,00006	0,00001	0,00007
3t59 - 3t60	9	0,00007	0,00001	0,00008
3t61 - 3t65	6	0,00005	0,00000	0,00005
3t58 - 3t60	95	0,00077	0,00013	0,00085
3t60 - 3t65	107	0,00086	0,00015	0,00096
3t62 - 3t64	27	0,00022	0,00003	0,00024
3t63 - 3t64	17	0,00014	0,00002	0,00015
3t64 - 3t65	47	0,00038	0,00006	0,00042
3t65 - 3t68	166	0,00134	0,00026	0,00148

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
3t67 - 3t68	5	0,00004	0,00000	0,00004
3t69 - 3t71	12	0,00010	0,00001	0,00011
3t70 - 3t71	21	0,00017	0,00002	0,00019
3t72 - 3t73	27	0,00022	0,00003	0,00024
3t74 - 3t75	26	0,00021	0,00003	0,00023
3t76 - 3t77	15	0,00012	0,00001	0,00013
3t71 - 3t73	36	0,00029	0,00004	0,00032
3t73 - 3t75	64	0,00052	0,00008	0,00057
3t75 - 3t77	91	0,00073	0,00013	0,00081
3t77 - 3t78	107	0,00086	0,00015	0,00096
3t68 - 3t78	193	0,00155	0,00031	0,00172
3t78 - 3s6	300	0,00242	0,00052	0,00268
2t1 - 2t3	30	0,00024	0,00003	0,00027
2t2 - 2t3	35	0,00028	0,00004	0,00031
2t4 - 2t5	38	0,00031	0,00004	0,00034
2t6 - 2t7	32	0,00026	0,00004	0,00029

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
2t8 - 2t11	4	0,00003	0,00000	0,00004
2t9 - 2t19	23	0,00019	0,00002	0,00021
2t10 - 2t11	23	0,00019	0,00002	0,00021
2t12 - 2t13	23	0,00019	0,00002	0,00021
2t14 - 2t15	19	0,00015	0,00002	0,00017
2t16 - 2t19	11	0,00009	0,00001	0,00010
2t17 - 2t18	8	0,00006	0,00001	0,00007
2t19 - 2t20	41	0,00033	0,00005	0,00037
2t11 - 2t13	27	0,00022	0,00003	0,00024
2t13 - 2t15	50	0,00040	0,00006	0,00045
2t15 - 2t18	69	0,00056	0,00009	0,00062
2t18 - 2t20	77	0,00062	0,00010	0,00069
2t20 - 2s1	118	0,00095	0,00017	0,00105
2t3 - 2t5	65	0,00052	0,00008	0,00058
2t5 - 2t7	103	0,00083	0,00015	0,00092
2t7 - 2s1	135	0,00109	0,00020	0,00121

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
2t22 - 2s2	32	0,00026	0,00004	0,00029
2t24 - 2s3	29	0,00023	0,00003	0,00026
2t25 - 2s4	18	0,00015	0,00002	0,00016
2t23 - 2t35	22	0,00018	0,00002	0,00020
2t26 - 2t35	9	0,00007	0,00001	0,00008
2t27 - 2t36	21	0,00017	0,00002	0,00019
2t28 - 2t37	19	0,00015	0,00002	0,00017
2t29 - 2t31	4	0,00003	0,00000	0,00004
2t30 - 2t31	6	0,00005	0,00000	0,00005
2t32 - 2t33	8	0,00006	0,00001	0,00007
2t31 - 2t33	13	0,00010	0,00001	0,00012
2t33 - 2t34	24	0,00019	0,00003	0,00021
2t35 - 2t36	34	0,00027	0,00004	0,00030
2t36 - 2t37	58	0,00047	0,00007	0,00052
2t37 - 2t34	77	0,00062	0,00010	0,00069
2t34 - 2s5	110	0,00089	0,00016	0,00098

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
2t38 - 2s6	19	0,00015	0,00002	0,00017
1t1 - 1s1	21	0,00017	0,00002	0,00019
1t2 - 1t5	51	0,00041	0,00006	0,00046
1t3 - 1t6	35	0,00028	0,00004	0,00031
1t4 - 1t5	8	0,00006	0,00001	0,00007
1t7 - 1t9	20	0,00016	0,00002	0,00018
1t8 - 1t9	18	0,00015	0,00002	0,00016
1t10 - 1t11	20	0,00016	0,00002	0,00018
1t9 - 1t12	69	0,00056	0,00009	0,00062
1t13 - 1t14	54	0,00044	0,00007	0,00048
1t5 - 1t6	63	0,00051	0,00008	0,00056
1t6 - 1t11	102	0,00082	0,00014	0,00091
1t11 - 1t12	126	0,00102	0,00019	0,00113
1t12 - 1t14	198	0,00160	0,00032	0,00177
1t14 - 1s2	252	0,00203	0,00043	0,00225
1t15 - 1t17	5	0,00004	0,00000	0,00004

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
1t16 - 1t17	10	0,00008	0,00001	0,00009
1t17 - 1t19	38	0,00031	0,00004	0,00034
1t18 - 1t19	44	0,00035	0,00005	0,00039
1t19 - 1s2	82	0,00066	0,00011	0,00073
1t20 - 1t22	4	0,00003	0,00000	0,00004
1t21 - 1t22	20	0,00016	0,00002	0,00018
1t23 - 1t24	15	0,00012	0,00001	0,00013
1t22 - 1t24	24	0,00019	0,00003	0,00021
1t24 - 1t26	47	0,00038	0,00006	0,00042
1t25 - 1t26	28	0,00023	0,00003	0,00025
1t26 - 1t28	79	0,00064	0,00011	0,00071
1t27 - 1t28	11	0,00009	0,00001	0,00010
1t28 - 1s3	122	0,00098	0,00018	0,00109
1t29 - 1s3	20	0,00016	0,00002	0,00018
1t30 - 1t32	21	0,00017	0,00002	0,00019
1t31 - 1t32	13	0,00010	0,00001	0,00012

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah m ³ /detik	Q min m ³ /detik	Qpeak m ³ /detik
1t32 - 1s4	47	0,00038	0,00006	0,00042
1t33 - 1s4	28	0,00023	0,00003	0,00025
1t34 - 1t36	53	0,00043	0,00007	0,00047
1t35 - 1t36	15	0,00012	0,00001	0,00013
1t36 - 1s5	81	0,00065	0,00011	0,00072
1t37 - 1s6	33	0,00027	0,00004	0,00029
1t38 - 1s7	8	0,00006	0,00001	0,00007
1t39 - 1s7	10	0,00008	0,00001	0,00009
1t40 - 1s8	25	0,00020	0,00003	0,00022
1t41 - 1s9	28	0,00023	0,00003	0,00025
1t42 - 1s10	18	0,00015	0,00002	0,00016
1t43 - 1s10	21	0,00017	0,00002	0,00019
1t44 - 1s11	25	0,00020	0,00003	0,00022
1t45 - Bp1	43	0,00035	0,00005	0,00038
1t46 - Ap9	68	0,00058	0,00009	0,00065

Lampiran 1. 2 Spreadsheet perhitungan beban pipa sekunder

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah	Q min	Qpeak
		m ³ /detik	m ³ /detik	m ³ /detik
4s1 - 4s2	33	0,000266	0,000037	0,000295
4s2 - 4s3	86	0,000693	0,000117	0,000768
4s3 - 4s4	264	0,002871	0,000607	0,003183
4s4 - 4s5	300	0,003161	0,000686	0,003505
4s5 - 4s6	500	0,004772	0,001146	0,005291
4s6 - 4s7	521	0,004941	0,001197	0,005479
4s7 - Ap5	577	0,005394	0,001334	0,005981
3s1 - 3s2	74	0,000596	0,000098	0,000661
3s2 - 3s3	85	0,000688	0,000116	0,000762
3s3 - 3s4	254	0,002919	0,000612	0,003236
3s4 - 3s5	359	0,003813	0,000857	0,004228
3s5 - 3s6	503	0,005009	0,001205	0,005553
3s6 - Ap8	803	0,007425	0,001961	0,008233
2s1 - 2s2	253	0,002038	0,000427	0,002260

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah	Q min	Qpeak
		m ³ /detik	m ³ /detik	m ³ /detik
2s2 - 2s3	285	0,002296	0,000493	0,002545
2s3 - 2s4	314	0,002529	0,000554	0,002804
2s4 - 2s5	332	0,002674	0,000592	0,002965
2s5 - 2s6	442	0,003561	0,000834	0,003948
2s6 - Ap10	461	0,003714	0,000878	0,004117
1s1 - 1s2	41	0,000330	0,000048	0,000366
1s2 - 1s3	395	0,003182	0,000729	0,003528
1s3 - 1s4	559	0,004503	0,001106	0,004993
1s4 - 1s5	657	0,005293	0,001343	0,005868
1s5 - 1s6	750	0,006042	0,001574	0,006699
1s6 - 1s7	797	0,006420	0,001693	0,007118
1s7 - 1s8	848	0,006831	0,001824	0,007574
1s8 - 1s9	886	0,007137	0,001922	0,007913
1s9 - 1s10	918	0,007395	0,002006	0,008199
1s10 - 1s11	970	0,007814	0,002143	0,008663

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah	Q min	Qpeak
		m ³ /detik	m ³ /detik	m ³ /detik
1s11 - Bp1	1002	0,008072	0,002228	0,008949

Lampiran 1. 3 Spreadsheet perhitungan beban pipa primer

No Saluran	Jumlah KK	Q air Limbah	Q min	Qpeak
		m ³ /detik	m ³ /detik	m ³ /detik
Ap5 - Ap6	577	0,005394	0,001334	0,005981
Ap6 - Ap7	625	0,005773	0,001450	0,006401
Ap7 - Ap8	693	0,006321	0,001621	0,007008
Ap8 - Ap9	1522	0,013956	0,004188	0,015473
Ap9 - Ap10	1590	0,014538	0,004402	0,016119
Ap10 - iP	2051	0,018252	0,005815	0,020236
Bp1 - iP	1062	0,008555	0,002389	0,009485
iP - IPAL	3113	0,026807	0,009283	0,029721

Lampiran 1. 4 Spreadsheet perhitungan dimensi pipa tersier

No Saluran	L Pipa	Qpeak	Qmin	Slope Pipa	D hitung	D apply (ID)
	(m)	(m ³ /detik)	(m ³ /detik)		mm	mm
4t1 - 4s1	239,97	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
4t2 - 4s1	179,99	0,00036	1,555E-05	0,00100	53,553	101,6
4t3 - 4t5	43,28	0,00009	2,947E-06	0,00100	31,843	101,6
4t4 - 4t5	116,74	0,00029	1,212E-05	0,00100	49,542	101,6
4t6 - 4t7	115,52	0,00027	1,101E-05	0,00100	48,077	101,6
4t8 - 4t9	118,28	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6
4t5 - 4t7	54,27	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
4t7 - 4t9	54,23	0,00076	3,843E-05	0,00100	71,047	101,6
4t9 - 4s2	63,642	0,00118	6,547E-05	0,00100	83,916	101,6
4t10 - 4t23	214,57	0,00031	1,325E-05	0,00100	50,938	101,6
4t11 - 4t11b	36,33	0,00011	3,852E-06	0,00100	34,622	101,6
4t12 - 4t11b	230,66	0,00062	3,044E-05	0,00100	66,058	101,6
4t14 - 4t15	226,28	0,00049	2,279E-05	0,00100	60,346	101,6
4t16 -4t17	225,56	0,00062	3,044E-05	0,00100	66,058	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
4t18 - 4t19	226,95	0,00065	3,175E-05	0,00100	66,933	101,6
4t13 - 4t21	237,13	0,00031	1,325E-05	0,00100	50,938	101,6
4t20 - 4t21	211,48	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6
4t21 - 4t22	237,09	0,00082	4,254E-05	0,00100	73,336	101,6
4t11b - 4t15	54,45	0,00078	3,979E-05	0,00100	71,824	101,6
4t15 - 4t17	51,42	0,00131	7,446E-05	0,00100	87,360	101,6
4t17 - 4t19	53,98	0,00198	1,220E-04	0,00100	101,921	129,2
4t19 - 4t22	52,26	0,00263	1,711E-04	0,00100	113,292	129,2
4t22 - 4t23	55,19	0,00345	2,373E-04	0,00100	125,492	129,2
4t23 - 4t25	81,84	0,00376	2,633E-04	0,00100	129,628	147,6
4t24 - 4t25	337,29	0,00206	0,000E+00	0,00100	103,370	101,6
4t25 - 4s3	205,27	0,00602	4,256E-04	0,00100	154,616	184,6
4t26 - 4s4	496,79	0,00056	2,657E-05	0,00100	63,310	101,6
4t27 - 4t29	225	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
4t28 - 4t29	281,41	0,00022	8,850E-06	0,00100	44,900	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
4t29 - 4t35	221,41	0,00078	3,979E-05	0,00100	71,824	101,6
4t30 - 4t32	263,64	0,00069	3,440E-05	0,00100	68,628	101,6
4t31 - 4t32	208,59	0,00053	2,530E-05	0,00100	62,348	101,6
4t33 - 4t34	208,59	0,00049	2,279E-05	0,00100	60,346	101,6
4t32 - 4t34	52,21	0,00127	7,144E-05	0,00100	86,237	101,6
4t34 - 4t35	66,84	0,00180	1,089E-04	0,00100	98,384	101,6
4t35 - 4t37	49,59	0,00258	1,676E-04	0,00100	112,568	129,2
4t36 - 4t37	192,89	0,00022	8,850E-06	0,00100	44,900	101,6
4t38 - 4t40	203,04	0,00044	2,033E-05	0,00100	58,228	101,6
4t39 - 4t40	152,15	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6
4t41 - 4t42	152,57	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
4t37 - 4t43	173,36	0,00303	2,028E-04	0,00100	119,487	129,2
4t40 - 4t42	51,04	0,00082	4,254E-05	0,00100	73,336	101,6
4t42 - 4t43	63,79	0,00136	7,750E-05	0,00100	88,459	101,6
4t52 - 4t53	173,69	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
4t44 - 4t53	411,16	0,00049	2,279E-05	0,00100	60,346	101,6
4t45 - 4t47	31,62	0,00009	2,947E-06	0,00100	31,843	101,6
4t46 - 4t47	205,68	0,00044	2,033E-05	0,00100	58,228	101,6
4t50 - 4t51	211,21	0,00051	2,404E-05	0,00100	61,361	101,6
4t48 - 4t49	206,26	0,00038	1,673E-05	0,00100	54,785	101,6
4t47 - 4t49	52,09	0,00058	2,785E-05	0,00100	64,248	101,6
4t49 - 4t51	55,04	0,00100	5,380E-05	0,00100	78,922	101,6
4t51 - Ap7	60,61	0,00151	8,829E-05	0,00100	92,137	101,6
4t53 - Ap6	62,67	0,00069	3,440E-05	0,00100	68,628	101,6
4t43 - 4s5	59,94	0,00445	3,222E-04	0,00100	138,079	147,6
4t54 - 4s6	218,99	0,00022	8,850E-06	0,00142	42,067	101,6
4t55 - 4t57	50,33	0,00007	2,087E-06	0,00100	28,587	101,6
4t56 - 4t57	149,56	0,00040	1,792E-05	0,00100	55,972	101,6
4t58 - 4t59	152,21	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
4t60 - 4t61	156,05	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
4t57 - 4t59	52,32	0,00053	2,530E-05	0,00100	62,348	101,6
4t59 - 4t61	50,35	0,00105	5,668E-05	0,00100	80,219	101,6
4t61 - 4s7	56,75	0,00125	7,023E-05	0,00100	85,799	101,6
3t1 - 3t5	175,45	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
3t2 - 3t4	173,78	0,00049	2,279E-05	0,00100	60,346	101,6
3t3 - 3t4	211,4	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6
3t4 - 3t5	53,12	0,00091	4,811E-05	0,00100	76,214	101,6
3t5 - 3s1	66,48	0,00147	8,519E-05	0,00100	91,111	101,6
3t1a - 3s1	168,57	0,00018	6,771E-06	0,00100	41,295	101,6
3t6 - 3s2	168,49	0,00025	1,023E-05	0,00100	47,075	101,6
3t8 - 3t10	236,88	0,00022	8,850E-06	0,00100	44,900	101,6
3t7 - 3t10	211,21	0,00049	2,279E-05	0,00100	60,346	101,6
3t10 - 3t23	472,01	0,00116	6,399E-05	0,00100	83,319	101,6
3t9 - 3t12	300,47	0,00031	1,325E-05	0,00100	50,938	101,6
3t11 - 3t12	230,7	0,00029	1,212E-05	0,00100	49,542	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
3t13 - 3t15	73,78	0,00007	2,087E-06	0,00100	28,587	101,6
3t14 - 3t15	170,86	0,00022	8,850E-06	0,00100	44,900	101,6
3t16 - 3t17	168,57	0,00040	1,792E-05	0,00100	55,972	101,6
3t18 - 3t19	165,42	0,00040	1,792E-05	0,00100	55,972	101,6
3t12 - 3t20	172,87	0,00082	4,254E-05	0,00100	73,336	101,6
3t15 - 3t17	53,89	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6
3t17 - 3t19	54,5	0,00080	4,116E-05	0,00100	72,586	101,6
3t19 - 3t20	47,03	0,00127	7,144E-05	0,00100	86,237	101,6
3t20 - 3t22	205,87	0,00216	1,352E-04	0,00100	105,264	129,2
3t21 - 3t22	111,97	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6
3t21a - 3t22a	171,78	0,00024	9,213E-06	0,00100	45,944	101,6
3t22 - 3t22a	399,02	0,00240	1,538E-04	0,00100	109,591	129,2
3t22a - 3t23	2110,4	0,00501	3,256E-04	0,00100	144,315	147,6
3t23 - 3s3	181,89	0,00616	4,315E-04	0,00100	156,017	184,6
3t24 - 3t25	221,25	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
3t27 - 3t33	105,92	0,00036	1,555E-05	0,00100	53,553	101,6
3t35 - 3t34	193,78	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
3t28 - 3t30	42,96	0,00007	2,087E-06	0,00100	28,587	101,6
3t29 - 3t30	72,29	0,00009	2,947E-06	0,00100	31,843	101,6
3t30 - 3t32	88,96	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
3t31 - 3t32	150,98	0,00031	1,325E-05	0,00100	50,938	101,6
3t32 - 3t33	53,55	0,00062	3,044E-05	0,00100	66,058	101,6
3t33 - 3t34	53,53	0,00107	5,813E-05	0,00100	80,855	101,6
3t34 - 3t25	55,8	0,00131	7,446E-05	0,00100	87,360	101,6
3t25b - 3t25a	115,18	0,00013	4,794E-06	0,00100	37,072	101,6
3t25 - 3t25a	15,78	0,00165	9,772E-05	0,00100	95,105	101,6
3t25a - 3t26	211,9	0,00202	1,252E-04	0,00100	102,774	129,2
3t41 - 3t26	105,05	0,00011	3,852E-06	0,00100	34,622	101,6
3t26 - 3s4	199,78	0,00234	1,487E-04	0,00100	108,440	129,2
3t36 - 3t40	184,18	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
3t37 - 3t39	191,07	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
3t38 - 3t39	145,02	0,00038	1,673E-05	0,00100	54,785	101,6
3t39 - 3t40	51,56	0,00089	4,671E-05	0,00100	75,512	101,6
3t40 - 3t40a	109,92	0,00136	7,750E-05	0,00100	88,459	101,6
3t40b - 3t40a	157,57	0,00028	1,052E-05	0,00100	48,709	101,6
3t40a - 3t43	214,88	0,00188	1,132E-04	0,00100	99,924	101,6
3t42 - 3t43	207,83	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
3t44 - 3t45	206,41	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
3t46 - 3t47	206,17	0,00056	2,657E-05	0,00100	63,310	101,6
3t43 - 3t45	50,26	0,00212	1,313E-04	0,00100	104,620	129,2
3t45 - 3t47	46,93	0,00259	1,670E-04	0,00100	112,722	129,2
3t47 - 3s5	51,09	0,00315	2,112E-04	0,00100	121,252	129,2
3t48 - 3t50	45,39	0,00011	3,852E-06	0,00100	34,622	101,6
3t49 - 3t50	90,06	0,00031	1,325E-05	0,00100	50,938	101,6
3t51 - 3t52	68,41	0,00016	5,768E-06	0,00100	39,278	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
3t53 - 3t54	158,76	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
3t50 - 3t52	52,05	0,00060	2,914E-05	0,00100	65,163	101,6
3t52 - 3t54	88,37	0,00089	4,671E-05	0,00100	75,512	101,6
3t54b - 3t54a	103,18	0,00018	6,771E-06	0,00100	41,295	101,6
3t54 - 3t54a	47,12	0,00118	6,547E-05	0,00100	83,916	101,6
3t54a - 3t56	131,53	0,00147	8,519E-05	0,00100	91,111	101,6
3t55 - 3t56	142,44	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6
3t56 - 3t56a	14,06	0,00167	9,931E-05	0,00100	95,585	101,6
3t56b - 3t56a	83,97	0,00016	5,768E-06	0,00100	39,278	101,6
3t56a - 3t58	60,42	0,00182	1,105E-04	0,00100	98,838	101,6
3t57 - 3t58	82	0,00018	6,771E-06	0,00100	41,295	101,6
3t59 - 3t60	76,8	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6
3t61 - 3t65	75,25	0,00013	4,794E-06	0,00100	37,072	101,6
3t58 - 3t60	57,68	0,00211	1,319E-04	0,00100	104,445	129,2
3t60 - 3t65	55,76	0,00238	1,521E-04	0,00100	109,210	129,2

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
3t62 - 3t64	218,99	0,00060	2,914E-05	0,00100	65,163	101,6
3t63 - 3t64	135,31	0,00038	1,673E-05	0,00100	54,785	101,6
3t64 - 3t65	54,17	0,00105	5,668E-05	0,00100	80,219	101,6
3t65 - 3t68	150,23	0,00369	2,577E-04	0,00100	128,761	129,2
3t67 - 3t68	25,39	0,00011	3,852E-06	0,00100	34,622	101,6
3t69 - 3t71	186,72	0,00027	1,101E-05	0,00100	48,077	101,6
3t70 - 3t71	141,78	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
3t72 - 3t73	141,95	0,00060	2,914E-05	0,00100	65,163	101,6
3t74 - 3t75	142,08	0,00058	2,785E-05	0,00100	64,248	101,6
3t76 - 3t77	142,09	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6
3t71 - 3t73	28,49	0,00080	4,116E-05	0,00100	72,586	101,6
3t73 - 3t75	26,28	0,00142	8,210E-05	0,00100	90,066	101,6
3t75 - 3t77	29,12	0,00202	1,252E-04	0,00100	102,774	129,2
3t77 - 3t78	40,29	0,00238	1,521E-04	0,00100	109,210	129,2
3t68 - 3t78	148,01	0,00429	3,087E-04	0,00100	136,247	147,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
3t78 - 3s6	43,79	0,00667	5,242E-04	0,00100	160,754	184,8
2t1 - 2t3	237,36	0,00067	3,307E-05	0,00100	67,790	101,6
2t2 - 2t3	191,89	0,00078	3,979E-05	0,00100	71,824	101,6
2t4 - 2t5	194,34	0,00085	4,392E-05	0,00100	74,073	101,6
2t6 - 2t7	191,4	0,00071	3,574E-05	0,00100	69,450	101,6
2t8 - 2t11	50,11	0,00009	2,947E-06	0,00100	31,843	101,6
2t9 - 2t19	272,47	0,00051	2,404E-05	0,00100	61,361	101,6
2t10 - 2t11	124,42	0,00051	2,404E-05	0,00100	61,361	101,6
2t12 - 2t13	126,42	0,00051	2,404E-05	0,00100	61,361	101,6
2t14 - 2t15	110,61	0,00042	1,912E-05	0,00100	57,118	101,6
2t16 - 2t19	109,48	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
2t17 - 2t18	75,42	0,00018	6,771E-06	0,00100	41,295	101,6
2t19 - 2t20	98,15	0,00091	4,811E-05	0,00100	76,214	101,6
2t11 - 2t13	34,9	0,00060	2,914E-05	0,00100	65,163	101,6
2t13 - 2t15	33,57	0,00111	6,105E-05	0,00100	82,102	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
2t15 - 2t18	38,65	0,00154	8,985E-05	0,00100	92,643	101,6
2t18 - 2t20	78,58	0,00171	1,025E-04	0,00100	96,533	101,6
2t20 - 2s1	134,79	0,00263	1,711E-04	0,00100	113,292	129,2
2t3 - 2t5	44,77	0,00145	8,364E-05	0,00100	90,591	101,6
2t5 - 2t7	41,41	0,00229	1,453E-04	0,00100	107,660	129,2
2t7 - 2s1	136,78	0,00300	2,011E-04	0,00100	119,156	129,2
2t22 - 2s2	278,19	0,00071	3,574E-05	0,00100	69,450	101,6
2t24 - 2s3	258,24	0,00065	3,175E-05	0,00100	66,933	101,6
2t25 - 2s4	255,44	0,00040	1,792E-05	0,00100	55,972	101,6
2t23 - 2t35	282,41	0,00049	2,279E-05	0,00100	60,346	101,6
2t26 - 2t35	143,25	0,00020	7,798E-06	0,00100	43,160	101,6
2t27 - 2t36	139,19	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
2t28 - 2t37	132,83	0,00042	1,912E-05	0,00100	57,118	101,6
2t29 - 2t31	35,19	0,00009	2,947E-06	0,00100	31,843	101,6
2t30 - 2t31	73,3	0,00013	4,794E-06	0,00100	37,072	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
2t32 - 2t33	70,66	0,00018	6,771E-06	0,00100	41,295	101,6
2t31 - 2t33	43,4	0,00029	1,212E-05	0,00100	49,542	101,6
2t33 - 2t34	52,89	0,00053	2,530E-05	0,00100	62,348	101,6
2t35 - 2t36	37,11	0,00076	3,843E-05	0,00100	71,047	101,6
2t36 - 2t37	45,05	0,00129	7,295E-05	0,00100	86,802	101,6
2t37 - 2t34	47,54	0,00171	1,025E-04	0,00100	96,533	101,6
2t34 - 2s5	86,69	0,00245	1,573E-04	0,00100	110,348	129,2
2t38 - 2s6	242,33	0,00042	1,912E-05	0,00100	57,118	101,6
1t1 - 1s1	257,4	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
1t2 - 1t5	306,36	0,00113	6,252E-05	0,00100	82,714	101,6
1t3 - 1t6	325,18	0,00078	3,979E-05	0,00100	71,824	101,6
1t4 - 1t5	61,69	0,00018	6,771E-06	0,00100	41,295	101,6
1t7 - 1t9	138,12	0,00044	2,033E-05	0,00100	58,228	101,6
1t8 - 1t9	113,15	0,00040	1,792E-05	0,00100	55,972	101,6
1t10 - 1t11	141,54	0,00044	2,033E-05	0,00100	58,228	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
1t9 - 1t12	216,38	0,00154	8,985E-05	0,00100	92,643	101,6
1t13 - 1t14	339,07	0,00120	6,696E-05	0,00100	84,506	101,6
1t5 - 1t6	40,78	0,00140	8,056E-05	0,00100	89,535	101,6
1t6 - 1t11	40,49	0,00227	1,436E-04	0,00100	107,267	101,6
1t11 - 1t12	39,38	0,00280	1,851E-04	0,00100	116,113	129,2
1t12 - 1t14	43,49	0,00441	3,184E-04	0,00115	134,009	147,6
1t14 - 1s2	52,52	0,00561	4,252E-04	0,00100	150,580	184,6
1t15 - 1t17	46,93	0,00011	3,852E-06	0,00100	34,622	101,6
1t16 - 1t17	123,13	0,00022	8,850E-06	0,00100	44,900	101,6
1t17 - 1t19	447,78	0,00085	4,392E-05	0,00100	74,073	101,6
1t18 - 1t19	380,55	0,00098	5,237E-05	0,00100	78,260	101,6
1t19 - 1s2	176,47	0,00182	1,105E-04	0,00100	98,838	101,6
1t20 - 1t22	40,24	0,00009	2,947E-06	0,00100	31,843	101,6
1t21 - 1t22	117,68	0,00044	2,033E-05	0,00100	58,228	101,6
1t23 - 1t24	121,92	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
1t22 - 1t24	9,09	0,00053	2,530E-05	0,00100	62,348	101,6
1t24 - 1t26	71,13	0,00105	5,668E-05	0,00100	80,219	101,6
1t25 - 1t26	145,27	0,00062	3,044E-05	0,00100	66,058	101,6
1t26 - 1t28	33,89	0,00176	1,057E-04	0,00100	97,466	101,6
1t27 - 1t28	51,41	0,00024	9,922E-06	0,00100	46,533	101,6
1t28 - 1s3	177,09	0,00271	1,781E-04	0,00100	114,717	129,2
1t29 - 1s3	221,45	0,00044	2,033E-05	0,00100	58,228	101,6
1t30 - 1t32	90,29	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
1t31 - 1t32	72,81	0,00029	1,212E-05	0,00100	49,542	101,6
1t32 - 1s4	59,54	0,00105	5,668E-05	0,00100	80,219	101,6
1t33 - 1s4	118,6	0,00062	3,044E-05	0,00100	66,058	101,6
1t34 - 1t36	240,42	0,00118	6,547E-05	0,00100	83,916	101,6
1t35 - 1t36	80,57	0,00033	1,440E-05	0,00100	52,273	101,6
1t36 - 1s5	58,18	0,00180	1,089E-04	0,00100	98,384	101,6
1t37 - 1s6	159,96	0,00073	3,708E-05	0,00100	70,256	101,6

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
1t38 - 1s7	45,81	0,00018	6,771E-06	0,00100	41,295	101,6
1t39 - 1s7	52,67	0,00022	8,850E-06	0,00100	44,900	101,6
1t40 - 1s8	106,92	0,00056	2,657E-05	0,00100	63,310	101,6
1t41 - 1s9	110,43	0,00062	3,044E-05	0,00100	66,058	101,6
1t42 - 1s10	113,85	0,00040	1,792E-05	0,00100	55,972	101,6
1t43 - 1s10	82,51	0,00047	2,156E-05	0,00100	59,303	101,6
1t44 - 1s11	133,39	0,00056	2,657E-05	0,00100	63,310	101,6
1t45 - Bp1	427,81	0,00096	5,094E-05	0,00100	77,588	101,6
1t46 - Ap9	783,06	0,00161	9,389E-05	0,00100	94,285	101,6

Lampiran 1. 5 Spreadsheet perhitungan dimensi pipa sekunder

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
4s1 - 4s2	162,21	0,00073	3,708E-05	0,00100	70,256	101,6
4s2 - 4s3	81,51	0,00191	1,170E-04	0,00100	100,619	101,6
4s3 - 4s4	19,61	0,00793	6,070E-04	0,00510	126,347	129,2

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
4s4 - 4s5	231,13	0,00873	6,856E-04	0,00100	177,786	184,6
4s5 - 4s6	27,14	0,01318	1,146E-03	0,01142	131,416	147,6
4s6 - 4s7	164,85	0,01365	1,197E-03	0,00100	210,208	230,8
4s7 - Ap5	86,57	0,01490	1,334E-03	0,00762	148,431	184,6
3s1 - 3s2	54,73	0,00165	9,772E-05	0,00100	95,105	101,6
3s2 - 3s3	100	0,00190	1,159E-04	0,00100	100,331	101,6
3s3 - 3s4	24,08	0,00806	6,124E-04	0,03738	87,509	101,6
3s4 - 3s5	236,58	0,01053	8,573E-04	0,00100	190,737	207,8
3s5 - 3s6	194,43	0,01383	1,205E-03	0,00100	211,278	230,8
3s6 - Ap8	56,87	0,02051	1,961E-03	0,00100	244,893	258,6
2s1 - 2s2	52,29	0,00563	4,272E-04	0,00100	150,804	184,6
2s2 - 2s3	48,08	0,00634	4,929E-04	0,00100	157,692	184,6
2s3 - 2s4	42,77	0,00699	5,536E-04	0,00100	163,528	185,6
2s4 - 2s5	136,43	0,00739	5,920E-04	0,00100	166,982	184,6
2s5 - 2s6	39,38	0,00983	8,345E-04	0,00100	185,898	207,8

No Saluran	L Pipa (m)	Qpeak (m ³ /detik)	Qmin (m ³ /detik)	Slope Pipa	D hitung mm	D apply (ID) mm
2s6 - Ap10	4,67	0,01026	8,777E-04	0,02141	106,323	101,6
1s1 - 1s2	352,15	0,00091	4,811E-05	0,00100	76,214	101,6
1s2 - 1s3	128,16	0,00879	7,292E-04	0,00101	177,748	184,6
1s3 - 1s4	122,58	0,01244	1,106E-03	0,00100	203,012	207,8
1s4 - 1s5	151,58	0,01462	1,343E-03	0,00100	215,690	230,8
1s5 - 1s6	89,04	0,01669	1,574E-03	0,00100	226,668	230,8
1s6 - 1s7	85,72	0,01773	1,693E-03	0,00100	231,894	258,6
1s7 - 1s8	146,19	0,01887	1,824E-03	0,00100	237,351	258,6
1s8 - 1s9	81,83	0,01971	1,922E-03	0,00100	241,285	258,6
1s9 - 1s10	42,74	0,02043	2,006E-03	0,00211	212,652	230,8
1s10 - 1s11	74,76	0,02158	2,143E-03	0,00100	249,621	258,6
1s11 - Bp1	53,94	0,02229	2,228E-03	0,00100	252,678	258,6

Lampiran 1. 6 Spreadsheet perhitungan dimensi pipa primer

No Saluran	L Pipa	Qpeak	Qmin	Slope Pipa	D hitung	D apply (ID)
	(m)	(m ³ /detik)	(m ³ /detik)		mm	mm
Ap5 - Ap6	235,17	0,01490	1,334E-03	0,00100	217,237	258,6
Ap6 - Ap7	268,31	0,01595	1,450E-03	0,00100	222,834	258,6
Ap7 - Ap8	77,21	0,01746	1,621E-03	0,00466	172,734	207,8
Ap8 - Ap9	381,25	0,03855	4,188E-03	0,00100	310,268	327,8
Ap9 - Ap10	97,44	0,04015	4,402E-03	0,00359	247,897	258,6
Ap10 - iP	14,76	0,05041	5,815E-03	0,00100	343,119	369,4
Bp1 - iP	245,43	0,02363	2,389E-03	0,00100	258,249	258,6
iP - IPAL	62,69	0,07404	9,283E-03	0,00100	396,322	415,6

LAMPIRAN 2
SPREADSHEET BOQ SPAL
Lampiran 2. 1 Jumlah Pipa Jalur Tersier

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
4t1 - 4s1	110	239,97	6	40
4t2 - 4s1	110	179,99	6	30
4t3 - 4t5	110	43,28	6	8
4t4 - 4t5	110	116,74	6	20
4t6 - 4t7	110	115,52	6	20
4t8 - 4t9	110	118,28	6	20
4t5 - 4t7	110	54,27	6	10
4t7 - 4t9	110	54,23	6	10
4t9 - 4s2	110	63,642	6	11
4t10 - 4t23	110	214,57	6	36
4t11 - 4t11b	110	36,33	6	7
4t12 - 4t11b	110	230,66	6	39
4t14 - 4t15	110	226,28	6	38
4t16 - 4t17	110	225,56	6	38
4t18 - 4t19	110	226,95	6	38
4t13 - 4t21	110	237,13	6	40
4t20 - 4t21	110	211,48	6	36
4t21 - 4t22	110	237,09	6	40
4t11b - 4t15	110	54,45	6	10
4t15 - 4t17	110	51,42	6	9
4t17 - 4t19	140	53,98	6	9
4t19 - 4t22	140	52,26	6	9

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa Buah
	mm	m	m	
4t22 - 4t23	140	55,19	6	10
4t23 - 4t25	160	81,84	6	14
4t24 - 4t25	110	337,29	6	57
4t25 - 4s3	200	205,27	6	35
4t26 - 4s4	110	496,79	6	83
4t27 - 4t29	110	225	6	38
4t28 - 4t29	110	281,41	6	47
4t29 - 4t35	110	221,41	6	37
4t30 - 4t32	110	263,64	6	44
4t31 - 4t32	110	208,59	6	35
4t33 - 4t34	110	208,59	6	35
4t32 - 4t34	110	52,21	6	9
4t34 - 4t35	110	66,84	6	12
4t35 - 4t37	140	49,59	6	9
4t36 - 4t37	110	192,89	6	33
4t38 - 4t40	110	203,04	6	34
4t39 - 4t40	110	152,15	6	26
4t41 - 4t42	110	152,57	6	26
4t37 - 4t43	140	173,36	6	29
4t40 - 4t42	110	51,04	6	9
4t42 - 4t43	110	63,79	6	11
4t52 - 4t53	110	173,69	6	29
4t44 - 4t53	110	411,16	6	69
4t45 - 4t47	110	31,62	6	6
4t46 - 4t47	110	205,68	6	35
4t50 - 4t51	110	211,21	6	36

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
4t48 - 4t49	110	206,26	6	35
4t47 - 4t49	110	52,09	6	9
4t49 - 4t51	110	55,04	6	10
4t51 - Ap7	110	60,61	6	11
4t53 - Ap6	110	62,67	6	11
4t43 - 4s5	160	59,94	6	10
4t54 - 4s6	110	218,99	6	37
4t55 - 4t57	110	50,33	6	9
4t56 - 4t57	110	149,56	6	25
4t58 - 4t59	110	152,21	6	26
4t60 - 4t61	110	156,05	6	27
4t57 - 4t59	110	52,32	6	9
4t59 - 4t61	110	50,35	6	9
4t61 - 4s7	110	56,75	6	10
3t1 - 3t5	110	175,45	6	30
3t2 - 3t4	110	173,78	6	29
3t3 - 3t4	110	211,4	6	36
3t4 - 3t5	110	53,12	6	9
3t5 - 3s1	110	66,48	6	12
3t1a - 3s1	110	168,57	6	29
3t6 - 3s2	110	168,49	6	29
3t8 - 3t10	110	236,88	6	40
3t7 - 3t10	110	211,21	6	36
3t10 - 3t23	110	472,01	6	79
3t9 - 3t12	110	300,47	6	51
3t11 - 3t12	110	230,7	6	39

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa Buah
	mm	m	m	
3t13 - 3t15	110	73,78	6	13
3t14 - 3t15	110	170,86	6	29
3t16 - 3t17	110	168,57	6	29
3t18 - 3t19	110	165,42	6	28
3t12 - 3t20	110	172,87	6	29
3t15 - 3t17	110	53,89	6	9
3t17 - 3t19	110	54,5	6	10
3t19 - 3t20	110	47,03	6	8
3t20 - 3t22	140	205,87	6	35
3t21 - 3t22	110	111,97	6	19
3t21a - 3t22a	110	171,78	6	29
3t22 - 3t22a	140	399,02	6	67
3t22a - 3t23	160	2110,4	6	352
3t23 - 3s3	200	181,89	6	31
3t24 - 3t25	110	221,25	6	37
3t27 - 3t33	110	105,92	6	18
3t35 - 3t34	110	193,78	6	33
3t28 - 3t30	110	42,96	6	8
3t29 - 3t30	110	72,29	6	13
3t30 - 3t32	110	88,96	6	15
3t31 - 3t32	110	150,98	6	26
3t32 - 3t33	110	53,55	6	9
3t33 - 3t34	110	53,53	6	9
3t34 - 3t25	110	55,8	6	10
3t25b - 3t25a	110	115,18	6	20

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
3t25 - 3t25a	110	15,78	6	3
3t25a - 3t26	140	211,9	6	36
3t41 - 3t26	110	105,05	6	18
3t26 - 3s4	140	199,78	6	34
3t36 - 3t40	110	184,18	6	31
3t37 - 3t39	110	191,07	6	32
3t38 - 3t39	110	145,02	6	25
3t39 - 3t40	110	51,56	6	9
3t40 - 3t40a	110	109,92	6	19
3t40b - 3t40a	110	157,57	6	27
3t40a - 3t43	110	214,88	6	36
3t42 - 3t43	110	207,83	6	35
3t44 - 3t45	110	206,41	6	35
3t46 - 3t47	110	206,17	6	35
3t43 - 3t45	140	50,26	6	9
3t45 - 3t47	140	46,93	6	8
3t47 - 3s5	140	51,09	6	9
3t48 - 3t50	110	45,39	6	8
3t49 - 3t50	110	90,06	6	16
3t51 - 3t52	110	68,41	6	12
3t53 - 3t54	110	158,76	6	27
3t50 - 3t52	110	52,05	6	9
3t52 - 3t54	110	88,37	6	15
3t54b - 3t54a	110	103,18	6	18
3t54 - 3t54a	110	47,12	6	8

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa Buah
	mm	m	m	
3t54a - 3t56	110	131,53	6	22
3t55 - 3t56	110	142,44	6	24
3t56 - 3t56a	110	14,06	6	3
3t56b - 3t56a	110	83,97	6	14
3t56a - 3t58	110	60,42	6	11
3t57 - 3t58	110	82	6	14
3t59 - 3t60	110	76,8	6	13
3t61 - 3t65	110	75,25	6	13
3t58 - 3t60	140	57,68	6	10
3t60 - 3t65	140	55,76	6	10
3t62 - 3t64	110	218,99	6	37
3t63 - 3t64	110	135,31	6	23
3t64 - 3t65	110	54,17	6	10
3t65 - 3t68	140	150,23	6	26
3t67 - 3t68	110	25,39	6	5
3t69 - 3t71	110	186,72	6	32
3t70 - 3t71	110	141,78	6	24
3t72 - 3t73	110	141,95	6	24
3t74 - 3t75	110	142,08	6	24
3t76 - 3t77	110	142,09	6	24
3t71 - 3t73	110	28,49	6	5
3t73 - 3t75	110	26,28	6	5
3t75 - 3t77	140	29,12	6	5
3t77 - 3t78	140	40,29	6	7
3t68 - 3t78	160	148,01	6	25
3t78 - 3s6	500	43,79	6	8

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
2t1 - 2t3	110	237,36	6	40
2t2 - 2t3	110	191,89	6	32
2t4 - 2t5	110	194,34	6	33
2t6 - 2t7	110	191,4	6	32
2t8 - 2t11	110	50,11	6	9
2t9 - 2t19	110	272,47	6	46
2t10 - 2t11	110	124,42	6	21
2t12 - 2t13	110	126,42	6	22
2t14 - 2t15	110	110,61	6	19
2t16 - 2t19	110	109,48	6	19
2t17 - 2t18	110	75,42	6	13
2t19 - 2t20	110	98,15	6	17
2t11 - 2t13	110	34,9	6	6
2t13 - 2t15	110	33,57	6	6
2t15 - 2t18	110	38,65	6	7
2t18 - 2t20	110	78,58	6	14
2t20 - 2s1	140	134,79	6	23
2t3 - 2t5	110	44,77	6	8
2t5 - 2t7	140	41,41	6	7
2t7 - 2s1	140	136,78	6	23
2t22 - 2s2	110	278,19	6	47
2t24 - 2s3	110	258,24	6	44
2t25 - 2s4	110	255,44	6	43
2t23 - 2t35	110	282,41	6	48
2t26 - 2t35	110	143,25	6	24
2t27 - 2t36	110	139,19	6	24

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa Buah
	mm	m	m	
2t28 - 2t37	110	132,83	6	23
2t29 - 2t31	110	35,19	6	6
2t30 - 2t31	110	73,3	6	13
2t32 - 2t33	110	70,66	6	12
2t31 - 2t33	110	43,4	6	8
2t33 - 2t34	110	52,89	6	9
2t35 - 2t36	110	37,11	6	7
2t36 - 2t37	110	45,05	6	8
2t37 - 2t34	110	47,54	6	8
2t34 - 2s5	140	86,69	6	15
2t38 - 2s6	110	242,33	6	41
1t1 - 1s1	110	257,4	6	43
1t2 - 1t5	110	306,36	6	52
1t3 - 1t6	110	325,18	6	55
1t4 - 1t5	110	61,69	6	11
1t7 - 1t9	110	138,12	6	24
1t8 - 1t9	110	113,15	6	19
1t10 - 1t11	110	141,54	6	24
1t9 - 1t12	110	216,38	6	37
1t13 - 1t14	110	339,07	6	57
1t5 - 1t6	110	40,78	6	7
1t6 - 1t11	110	40,49	6	7
1t11 - 1t12	140	39,38	6	7
1t12 - 1t14	160	43,49	6	8
1t14 - 1s2	200	52,52	6	9
1t15 - 1t17	110	46,93	6	8

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
1t16 - 1t17	110	123,13	6	21
1t17 - 1t19	110	447,78	6	75
1t18 - 1t19	110	380,55	6	64
1t19 - 1s2	110	176,47	6	30
1t20 - 1t22	110	40,24	6	7
1t21 - 1t22	110	117,68	6	20
1t23 - 1t24	110	121,92	6	21
1t22 - 1t24	110	9,09	6	2
1t24 - 1t26	110	71,13	6	12
1t25 - 1t26	110	145,27	6	25
1t26 - 1t28	110	33,89	6	6
1t27 - 1t28	110	51,41	6	9
1t28 - 1s3	140	177,09	6	30
1t29 - 1s3	110	221,45	6	37
1t30 - 1t32	110	90,29	6	16
1t31 - 1t32	110	72,81	6	13
1t32 - 1s4	110	59,54	6	10
1t33 - 1s4	110	118,6	6	20
1t34 - 1t36	110	240,42	6	41
1t35 - 1t36	110	80,57	6	14
1t36 - 1s5	110	58,18	6	10
1t37 - 1s6	110	159,96	6	27
1t38 - 1s7	110	45,81	6	8
1t39 - 1s7	110	52,67	6	9
1t40 - 1s8	110	106,92	6	18
1t41 - 1s9	110	110,43	6	19

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
1t42 - 1s10	110	113,85	6	19
1t43 - 1s10	110	82,51	6	14
1t44 - 1s11	110	133,39	6	23
1t45 - Bp1	110	427,81	6	72
1t46 - Ap9	110	783,06	6	131

Lampiran 2. 2 Jumlah Pipa Jalur Sekunder

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
4s1 - 4s2	110	162,21	6	28
4s2 - 4s3	110	81,51	6	14
4s3 - 4s4	140	19,61	6	4
4s4 - 4s5	200	231,13	6	39
4s5 - 4s6	160	27,14	6	5
4s6 - 4s7	250	164,85	6	28
4s7 - Ap5	200	86,57	6	15
3s1 - 3s2	110	54,73	6	10
3s2 - 3s3	110	100	6	17
3s3 - 3s4	110	24,08	6	5
3s4 - 3s5	225	236,58	6	40
3s5 - 3s6	250	194,43	6	33
3s6 - Ap8	280	56,87	6	10
2s1 - 2s2	200	52,29	6	9
2s2 - 2s3	200	48,08	6	9
2s3 - 2s4	500	42,77	6	8
2s4 - 2s5	200	136,43	6	23

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
2s5 - 2s6	225	39,38	6	7
2s6 - Ap10	110	4,67	6	1
1s1 - 1s2	110	352,15	6	59
1s2 - 1s3	200	128,16	6	22
1s3 - 1s4	225	122,58	6	21
1s4 - 1s5	250	151,58	6	26
1s5 - 1s6	250	89,04	6	15
1s6 - 1s7	280	85,72	6	15
1s7 - 1s8	280	146,19	6	25
1s8 - 1s9	280	81,83	6	14
1s9 - 1s10	250	42,74	6	8
1s10 - 1s11	280	74,76	6	13
1s11 - Bp1	280	53,94	6	9

Lampiran 2. 3 Jumlah Pipa Jalur Primer

No Saluran	Diameter	Panjang	L Pipa Pasar	N Pipa
	mm	m	m	Buah
Ap5 - Ap6	280	235,17	6	40
Ap6 - Ap7	280	268,31	6	45
Ap7 - Ap8	225	77,21	6	13
Ap8 - Ap9	355	381,25	6	64
Ap9 - Ap10	280	97,44	6	17
Ap10 - iP	400	14,76	6	3
Bp1 - iP	280	245,43	6	41
iP - IPAL	500	62,69	6	11

Lampiran 2. 4 Kedalaman Galian Pipa

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
Tersier								
4t1 - 4s1	0,11	239,97	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t2 - 4s1	0,11	179,99	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t3 - 4t5	0,11	43,28	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t4 - 4t5	0,11	116,74	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t6 - 4t7	0,11	115,52	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t8 - 4t9	0,11	118,28	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t5 - 4t7	0,11	54,27	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t7 - 4t9	0,11	54,23	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t9 - 4s2	0,11	63,642	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t10 - 4t23	0,11	214,57	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t11 - 4t11b	0,11	36,33	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t12 - 4t11b	0,11	230,66	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t14 - 4t15	0,11	226,28	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t16 - 4t17	0,11	225,56	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t18 - 4t19	0,11	226,95	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t13 - 4t21	0,11	237,13	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t20 - 4t21	0,11	211,48	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t21 - 4t22	0,11	237,09	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t11b - 4t15	0,11	54,45	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t15 - 4t17	0,11	51,42	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t17 - 4t19	0,14	53,98	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
4t19 - 4t22	0,14	52,26	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
4t22 - 4t23	0,14	55,19	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
4t23 - 4t25	0,16	81,84	0,76	0,75	0,15	0,15	0,46	1,21

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
4t24 - 4t25	0,11	337,29	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t25 - 4s3	0,2	205,27	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
4t26 - 4s4	0,11	496,79	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t27 - 4t29	0,11	225	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t28 - 4t29	0,11	281,41	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t29 - 4t35	0,11	221,41	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t30 - 4t32	0,11	263,64	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t31 - 4t32	0,11	208,59	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t33 - 4t34	0,11	208,59	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t32 - 4t34	0,11	52,21	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t34 - 4t35	0,11	66,84	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t35 - 4t37	0,14	49,59	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
4t36 - 4t37	0,11	192,89	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t38 - 4t40	0,11	203,04	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t39 - 4t40	0,11	152,15	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t41 - 4t42	0,11	152,57	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t37 - 4t43	0,14	173,36	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
4t40 - 4t42	0,11	51,04	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t42 - 4t43	0,11	63,79	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t52 - 4t53	0,11	173,69	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t44 - 4t53	0,11	411,16	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t45 - 4t47	0,11	31,62	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t46 - 4t47	0,11	205,68	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t50 - 4t51	0,11	211,21	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t48 - 4t49	0,11	206,26	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t47 - 4t49	0,11	52,09	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
4t49 - 4t51	0,11	55,04	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t51 - Ap7	0,11	60,61	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t53 - Ap6	0,11	62,67	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t43 - 4s5	0,16	59,94	0,76	0,75	0,15	0,15	0,46	1,21
4t54 - 4s6	0,11	218,99	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t55 - 4t57	0,11	50,33	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t56 - 4t57	0,11	149,56	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t58 - 4t59	0,11	152,21	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t60 - 4t61	0,11	156,05	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t57 - 4t59	0,11	52,32	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t59 - 4t61	0,11	50,35	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4t61 - 4s7	0,11	56,75	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t1 - 3t5	0,11	175,45	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t2 - 3t4	0,11	173,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t3 - 3t4	0,11	211,4	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t4 - 3t5	0,11	53,12	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t5 - 3s1	0,11	66,48	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t1a - 3s1	0,11	168,57	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t6 - 3s2	0,11	168,49	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t8 - 3t10	0,11	236,88	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t7 - 3t10	0,11	211,21	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t10 - 3t23	0,11	472,01	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t9 - 3t12	0,11	300,47	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t11 - 3t12	0,11	230,7	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t13 - 3t15	0,11	73,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t14 - 3t15	0,11	170,86	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
3t16 - 3t17	0,11	168,57	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t18 - 3t19	0,11	165,42	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t12 - 3t20	0,11	172,87	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t15 - 3t17	0,11	53,89	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t17 - 3t19	0,11	54,5	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t19 - 3t20	0,11	47,03	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t20 - 3t22	0,14	205,87	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t21 - 3t22	0,11	111,97	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t21a - 3t22a	0,11	171,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t22 - 3t22a	0,14	399,02	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t22a - 3t23	0,16	2110,4	0,76	0,75	0,15	0,15	0,46	1,21
3t23 - 3s3	0,2	181,89	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
3t24 - 3t25	0,11	221,25	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t27 - 3t33	0,11	105,92	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t35 - 3t34	0,11	193,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t28 - 3t30	0,11	42,96	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t29 - 3t30	0,11	72,29	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t30 - 3t32	0,11	88,96	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t31 - 3t32	0,11	150,98	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t32 - 3t33	0,11	53,55	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t33 - 3t34	0,11	53,53	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t34 - 3t25	0,11	55,8	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t25b - 3t25a	0,11	115,18	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t25 - 3t25a	0,11	15,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t25a - 3t26	0,14	211,9	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t41 - 3t26	0,11	105,05	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
3t26 - 3s4	0,14	199,78	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t36 - 3t40	0,11	184,18	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t37 - 3t39	0,11	191,07	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t38 - 3t39	0,11	145,02	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t39 - 3t40	0,11	51,56	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t40 - 3t40a	0,11	109,92	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t40b - 3t40a	0,11	157,57	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t40a - 3t43	0,11	214,88	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t42 - 3t43	0,11	207,83	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t44 - 3t45	0,11	206,41	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t46 - 3t47	0,11	206,17	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t43 - 3t45	0,14	50,26	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t45 - 3t47	0,14	46,93	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t47 - 3s5	0,14	51,09	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t48 - 3t50	0,11	45,39	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t49 - 3t50	0,11	90,06	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t51 - 3t52	0,11	68,41	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t53 - 3t54	0,11	158,76	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t50 - 3t52	0,11	52,05	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t52 - 3t54	0,11	88,37	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t54b - 3t54a	0,11	103,18	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t54 - 3t54a	0,11	47,12	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t54a - 3t56	0,11	131,53	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t55 - 3t56	0,11	142,44	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t56 - 3t56a	0,11	14,06	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t56b - 3t56a	0,11	83,97	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
3t56a - 3t58	0,11	60,42	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t57 - 3t58	0,11	82	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t59 - 3t60	0,11	76,8	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t61 - 3t65	0,11	75,25	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t58 - 3t60	0,14	57,68	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t60 - 3t65	0,14	55,76	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t62 - 3t64	0,11	218,99	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t63 - 3t64	0,11	135,31	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t64 - 3t65	0,11	54,17	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t65 - 3t68	0,14	150,23	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t67 - 3t68	0,11	25,39	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t69 - 3t71	0,11	186,72	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t70 - 3t71	0,11	141,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t72 - 3t73	0,11	141,95	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t74 - 3t75	0,11	142,08	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t76 - 3t77	0,11	142,09	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t71 - 3t73	0,11	28,49	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t73 - 3t75	0,11	26,28	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3t75 - 3t77	0,14	29,12	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t77 - 3t78	0,14	40,29	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
3t68 - 3t78	0,16	148,01	0,76	0,75	0,15	0,15	0,46	1,21
3t78 - 3s6	0,5	43,79	1,1	0,75	0,15	0,15	0,8	1,55
2t1 - 2t3	0,11	237,36	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t2 - 2t3	0,11	191,89	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t4 - 2t5	0,11	194,34	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t6 - 2t7	0,11	191,4	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
2t8 - 2t11	0,11	50,11	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t9 - 2t19	0,11	272,47	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t10 - 2t11	0,11	124,42	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t12 - 2t13	0,11	126,42	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t14 - 2t15	0,11	110,61	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t16 - 2t19	0,11	109,48	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t17 - 2t18	0,11	75,42	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t19 - 2t20	0,11	98,15	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t11 - 2t13	0,11	34,9	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t13 - 2t15	0,11	33,57	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t15 - 2t18	0,11	38,65	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t18 - 2t20	0,11	78,58	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t20 - 2s1	0,14	134,79	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
2t3 - 2t5	0,11	44,77	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t5 - 2t7	0,14	41,41	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
2t7 - 2s1	0,14	136,78	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
2t22 - 2s2	0,11	278,19	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t24 - 2s3	0,11	258,24	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t25 - 2s4	0,11	255,44	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t23 - 2t35	0,11	282,41	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t26 - 2t35	0,11	143,25	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t27 - 2t36	0,11	139,19	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t28 - 2t37	0,11	132,83	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t29 - 2t31	0,11	35,19	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t30 - 2t31	0,11	73,3	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t32 - 2t33	0,11	70,66	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
2t31 - 2t33	0,11	43,4	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t33 - 2t34	0,11	52,89	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t35 - 2t36	0,11	37,11	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t36 - 2t37	0,11	45,05	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t37 - 2t34	0,11	47,54	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
2t34 - 2s5	0,14	86,69	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
2t38 - 2s6	0,11	242,33	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t1 - 1s1	0,11	257,4	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t2 - 1t5	0,11	306,36	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t3 - 1t6	0,11	325,18	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t4 - 1t5	0,11	61,69	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t7 - 1t9	0,11	138,12	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t8 - 1t9	0,11	113,15	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t10 - 1t11	0,11	141,54	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t9 - 1t12	0,11	216,38	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t13 - 1t14	0,11	339,07	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t5 - 1t6	0,11	40,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t6 - 1t11	0,11	40,49	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t11 - 1t12	0,14	39,38	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
1t12 - 1t14	0,16	43,49	0,76	0,75	0,15	0,15	0,46	1,21
1t14 - 1s2	0,2	52,52	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
1t15 - 1t17	0,11	46,93	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t16 - 1t17	0,11	123,13	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t17 - 1t19	0,11	447,78	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t18 - 1t19	0,11	380,55	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t19 - 1s2	0,11	176,47	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
1t20 - 1t22	0,11	40,24	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t21 - 1t22	0,11	117,68	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t23 - 1t24	0,11	121,92	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t22 - 1t24	0,11	9,09	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t24 - 1t26	0,11	71,13	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t25 - 1t26	0,11	145,27	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t26 - 1t28	0,11	33,89	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t27 - 1t28	0,11	51,41	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t28 - 1s3	0,14	177,09	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
1t29 - 1s3	0,11	221,45	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t30 - 1t32	0,11	90,29	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t31 - 1t32	0,11	72,81	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t32 - 1s4	0,11	59,54	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t33 - 1s4	0,11	118,6	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t34 - 1t36	0,11	240,42	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t35 - 1t36	0,11	80,57	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t36 - 1s5	0,11	58,18	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t37 - 1s6	0,11	159,96	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t38 - 1s7	0,11	45,81	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t39 - 1s7	0,11	52,67	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t40 - 1s8	0,11	106,92	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t41 - 1s9	0,11	110,43	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t42 - 1s10	0,11	113,85	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t43 - 1s10	0,11	82,51	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t44 - 1s11	0,11	133,39	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1t45 - Bp1	0,11	427,81	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16

No Saluran	Diameter	Panjang	w galian	h tanah (a)	h pasir atas (b)	h pasir bawah (c)	bDc	abDc
	m	m	m	m	m	m	m	m
1t46 - Ap9	0,11	783,06	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
Sekunder								
4s1 - 4s2	0,11	162,21	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4s2 - 4s3	0,11	81,51	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
4s3 - 4s4	0,14	19,61	0,74	0,75	0,15	0,15	0,44	1,19
4s4 - 4s5	0,2	231,13	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
4s5 - 4s6	0,16	27,14	0,76	0,75	0,15	0,15	0,46	1,21
4s6 - 4s7	0,25	164,85	0,85	0,75	0,15	0,15	0,55	1,3
4s7 - Ap5	0,2	86,57	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
3s1 - 3s2	0,11	54,73	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3s2 - 3s3	0,11	100	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3s3 - 3s4	0,11	24,08	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
3s4 - 3s5	0,225	236,58	0,825	0,75	0,15	0,15	0,53	1,275
3s5 - 3s6	0,25	194,43	0,85	0,75	0,15	0,15	0,55	1,3
3s6 - Ap8	0,28	56,87	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
2s1 - 2s2	0,2	52,29	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
2s2 - 2s3	0,2	48,08	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
2s3 - 2s4	0,5	42,77	1,1	0,75	0,15	0,15	0,8	1,55
2s4 - 2s5	0,2	136,43	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
2s5 - 2s6	0,225	39,38	0,825	0,75	0,15	0,15	0,53	1,275
2s6 - Ap10	0,11	4,67	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1s1 - 1s2	0,11	352,15	0,71	0,75	0,15	0,15	0,41	1,16
1s2 - 1s3	0,2	128,16	0,8	0,75	0,15	0,15	0,5	1,25
1s3 - 1s4	0,225	122,58	0,825	0,75	0,15	0,15	0,53	1,275
1s4 - 1s5	0,25	151,58	0,85	0,75	0,15	0,15	0,55	1,3
1s5 - 1s6	0,25	89,04	0,85	0,75	0,15	0,15	0,55	1,3

No Saluran	Diameter m	Panjang m	w galian m	h tanah (a) m	h pasir atas (b) m	h pasir bawah (c) m	bDc m	abDc m
1s6 - 1s7	0,28	85,72	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
1s7 - 1s8	0,28	146,19	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
1s8 - 1s9	0,28	81,83	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
1s9 - 1s10	0,25	42,74	0,85	0,75	0,15	0,15	0,55	1,3
1s10 - 1s11	0,28	74,76	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
1s11 - Bp1	0,28	53,94	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
Primer								
Ap5 - Ap6	0,28	235,17	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
Ap6 - Ap7	0,28	268,31	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
Ap7 - Ap8	0,225	77,21	0,825	0,75	0,15	0,15	0,53	1,275
Ap8 - Ap9	0,355	381,25	0,955	0,75	0,15	0,15	0,66	1,405
Ap9 - Ap10	0,28	97,44	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
Ap10 - iP	0,4	14,76	1	0,75	0,15	0,15	0,7	1,45
Bp1 - iP	0,28	245,43	0,88	0,75	0,15	0,15	0,58	1,33
iP - IPAL	0,5	62,69	1,1	0,75	0,15	0,15	0,8	1,55

Lampiran 2. 5 Volume Galian Pekerjaan Pengadaan SPAL

No Saluran	Diameter m	Panjang m	kedalaman penggalian		Y1 m	Y2 m	X m	Z m	Vol. galian		Vol. galian total m ³
			awal	akhir					I	II	
Tersier											
4t1 - 4s1	0,11	239,97	1,11	1,35	1,26	1,50	0,24	239,97	214,68	40,89	255,57
4t2 - 4s1	0,11	179,99	1,11	1,29	1,26	1,44	0,18	179,99	161,02	23,00	184,02
4t3 - 4t5	0,11	43,28	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	43,30	38,73	1,33	40,06
4t4 - 4t5	0,11	116,74	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	116,75	104,44	9,68	114,12
4t6 - 4t7	0,11	115,52	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	115,53	103,35	9,47	112,83
4t8 - 4t9	0,11	118,28	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	118,29	105,82	9,93	115,75
4t5 - 4t7	0,11	54,27	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	54,28	48,56	2,09	50,65

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
4t7 - 4t9	0,11	54,23	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	54,24	48,53	2,09	50,62
4t9 - 4s2	0,11	63,642	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	63,65	56,95	2,88	59,82
4t10 - 4t23	0,11	214,57	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	214,57	191,96	32,69	224,65
4t11 - 4t11b	0,11	36,33	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	36,35	32,52	0,94	33,46
4t12 - 4t11b	0,11	230,66	1,11	1,34	1,26	1,49	0,23	230,66	206,35	37,77	244,13
4t14 - 4t15	0,11	226,28	1,11	1,34	1,26	1,49	0,23	226,28	202,43	36,35	238,79
4t16 -4t17	0,11	225,56	1,11	1,34	1,26	1,49	0,23	225,56	201,79	36,12	237,91
4t18 - 4t19	0,11	226,95	1,11	1,34	1,26	1,49	0,23	226,95	203,03	36,57	239,60
4t13 - 4t21	0,11	237,13	1,11	1,35	1,26	1,50	0,24	237,13	212,14	39,92	252,06
4t20 - 4t21	0,11	211,48	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	211,48	189,19	31,75	220,95
4t21 - 4t22	0,11	237,09	1,11	1,35	1,26	1,50	0,24	237,09	212,10	39,91	252,01
4t11b - 4t15	0,11	54,45	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	54,46	48,72	2,11	50,83
4t15 - 4t17	0,11	51,42	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	51,44	46,01	1,88	47,89
4t17 - 4t19	0,14	53,98	1,14	1,19	1,29	1,34	0,05	54,00	51,54	2,16	53,70
4t19 - 4t22	0,14	52,26	1,14	1,19	1,29	1,34	0,05	52,28	49,90	2,02	51,92
4t22 - 4t23	0,14	55,19	1,14	1,20	1,29	1,35	0,06	55,21	52,70	2,25	54,95
4t23 - 4t25	0,16	81,84	1,16	1,24	1,31	1,39	0,08	81,85	81,49	5,09	86,58
4t24 - 4t25	0,11	337,29	1,11	1,45	1,26	1,60	0,34	337,29	301,74	80,77	382,51
4t25 - 4s3	0,2	205,27	1,20	1,41	1,35	1,56	0,21	205,27	221,70	33,71	255,41
4t26 - 4s4	0,11	496,79	1,11	1,61	1,26	1,76	0,50	496,79	444,43	175,23	619,66
4t27 - 4t29	0,11	225	1,11	1,34	1,26	1,49	0,23	225,00	201,29	35,94	237,23
4t28 - 4t29	0,11	281,41	1,11	1,39	1,26	1,54	0,28	281,41	251,75	56,23	307,98
4t29 - 4t35	0,11	221,41	1,11	1,33	1,26	1,48	0,22	221,41	198,08	34,81	232,88
4t30 - 4t32	0,11	263,64	1,11	1,37	1,26	1,52	0,26	263,64	235,86	49,35	285,20
4t31 - 4t32	0,11	208,59	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	208,59	186,61	30,89	217,50
4t33 - 4t34	0,11	208,59	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	208,59	186,61	30,89	217,50

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
4t32 - 4t34	0,11	52,21	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	52,23	46,72	1,94	48,66
4t34 - 4t35	0,11	66,84	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	66,85	59,81	3,17	62,98
4t35 - 4t37	0,14	49,59	1,14	1,19	1,29	1,34	0,05	49,61	47,35	1,82	49,17
4t36 - 4t37	0,11	192,89	1,11	1,30	1,26	1,45	0,19	192,89	172,56	26,42	198,98
4t38 - 4t40	0,11	203,04	1,11	1,31	1,26	1,46	0,20	203,04	181,64	29,27	210,91
4t39 - 4t40	0,11	152,15	1,11	1,26	1,26	1,41	0,15	152,16	136,12	16,44	152,55
4t41 - 4t42	0,11	152,57	1,11	1,26	1,26	1,41	0,15	152,58	136,49	16,53	153,02
4t37 - 4t43	0,14	173,36	1,14	1,31	1,29	1,46	0,17	173,36	165,49	22,24	187,73
4t40 - 4t42	0,11	51,04	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	51,06	45,67	1,85	47,52
4t42 - 4t43	0,11	63,79	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	63,80	57,08	2,89	59,97
4t52 - 4t53	0,11	173,69	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	173,69	155,39	21,42	176,81
4t44 - 4t53	0,11	411,16	1,11	1,52	1,26	1,67	0,41	411,16	367,83	120,03	487,85
4t45 - 4t47	0,11	31,62	1,11	1,14	1,26	1,29	0,03	31,65	28,31	0,71	29,02
4t46 - 4t47	0,11	205,68	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	205,68	184,00	30,04	214,04
4t50 - 4t51	0,11	211,21	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	211,21	188,95	31,67	220,62
4t48 - 4t49	0,11	206,26	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	206,26	184,52	30,21	214,73
4t47 - 4t49	0,11	52,09	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	52,11	46,61	1,93	48,54
4t49 - 4t51	0,11	55,04	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	55,05	49,25	2,15	51,40
4t51 - Ap7	0,11	60,61	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	60,62	54,23	2,61	56,84
4t53 - Ap6	0,11	62,67	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	62,68	56,08	2,79	58,86
4t43 - 4s5	0,16	59,94	1,16	1,22	1,31	1,37	0,06	59,95	59,69	2,73	62,42
4t54 - 4s6	0,11	218,99	1,11	1,11	1,26	1,26	0,00	218,99	195,91	0,00	195,91
4t55 - 4t57	0,11	50,33	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	50,35	45,04	1,80	46,84
4t56 - 4t57	0,11	149,56	1,11	1,26	1,26	1,41	0,15	149,57	133,80	15,88	149,68
4t58 - 4t59	0,11	152,21	1,11	1,26	1,26	1,41	0,15	152,22	136,17	16,45	152,62
4t60 - 4t61	0,11	156,05	1,11	1,27	1,26	1,42	0,16	156,06	139,61	17,29	156,90

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
4t57 - 4t59	0,11	52,32	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	52,34	46,82	1,94	48,76
4t59 - 4t61	0,11	50,35	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	50,37	45,06	1,80	46,86
4t61 - 4s7	0,11	56,75	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	56,76	50,78	2,29	53,07
3t1 - 3t5	0,11	175,45	1,11	1,29	1,26	1,44	0,18	175,45	156,96	21,86	178,82
3t2 - 3t4	0,11	173,78	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	173,78	155,47	21,44	176,91
3t3 - 3t4	0,11	211,4	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	211,40	189,12	31,73	220,85
3t4 - 3t5	0,11	53,12	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	53,13	47,53	2,00	49,54
3t5 - 3s1	0,11	66,48	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	66,49	59,48	3,14	62,62
3t1a - 3s1	0,11	168,57	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	168,57	150,81	20,18	170,98
3t6 - 3s2	0,11	168,49	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	168,49	150,74	20,16	170,89
3t8 - 3t10	0,11	236,88	1,11	1,35	1,26	1,50	0,24	236,88	211,92	39,84	251,76
3t7 - 3t10	0,11	211,21	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	211,21	188,95	31,67	220,62
3t10 - 3t23	0,11	472,01	1,11	1,58	1,26	1,73	0,47	472,01	422,26	158,18	580,44
3t9 - 3t12	0,11	300,47	1,11	1,41	1,26	1,56	0,30	300,47	268,80	64,10	332,90
3t11 - 3t12	0,11	230,7	1,11	1,34	1,26	1,49	0,23	230,70	206,39	37,79	244,18
3t13 - 3t15	0,11	73,78	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	73,79	66,01	3,86	69,88
3t14 - 3t15	0,11	170,86	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	170,86	152,86	20,73	173,58
3t16 - 3t17	0,11	168,57	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	168,57	150,81	20,18	170,98
3t18 - 3t19	0,11	165,42	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	165,42	147,99	19,43	167,42
3t12 - 3t20	0,11	172,87	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	172,87	154,65	21,22	175,87
3t15 - 3t17	0,11	53,89	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	53,90	48,22	2,06	50,29
3t17 - 3t19	0,11	54,5	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	54,51	48,77	2,11	50,88
3t19 - 3t20	0,11	47,03	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	47,05	42,09	1,57	43,66
3t20 - 3t22	0,14	205,87	1,14	1,35	1,29	1,50	0,21	205,87	196,53	31,36	227,89
3t21 - 3t22	0,11	111,97	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	111,98	100,17	8,90	109,08
3t21a - 3t22a	0,11	171,78	1,11	1,28	1,26	1,43	0,17	171,78	153,68	20,95	174,63

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
3t22 - 3t22a	0,14	399,02	1,14	1,54	1,29	1,69	0,40	399,02	380,91	117,82	498,73
3t22a - 3t23	0,16	2110,4	1,16	3,27	1,31	3,42	2,11	2110,40	2101,11	3384,88	5485,99
3t23 - 3s3	0,2	181,89	1,20	1,38	1,35	1,53	0,18	181,90	196,45	26,47	222,91
3t24 - 3t25	0,11	221,25	1,11	1,33	1,26	1,48	0,22	221,25	197,93	34,76	232,69
3t27 - 3t33	0,11	105,92	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	105,93	94,76	7,97	102,73
3t35 - 3t34	0,11	193,78	1,11	1,30	1,26	1,45	0,19	193,78	173,36	26,66	200,02
3t28 - 3t30	0,11	42,96	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	42,98	38,45	1,31	39,76
3t29 - 3t30	0,11	72,29	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	72,30	64,68	3,71	68,39
3t30 - 3t32	0,11	88,96	1,11	1,20	1,26	1,35	0,09	88,97	79,59	5,62	85,21
3t31 - 3t32	0,11	150,98	1,11	1,26	1,26	1,41	0,15	150,99	135,07	16,18	151,26
3t32 - 3t33	0,11	53,55	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	53,56	47,92	2,04	49,96
3t33 - 3t34	0,11	53,53	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	53,54	47,90	2,03	49,94
3t34 - 3t25	0,11	55,8	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	55,81	49,93	2,21	52,14
3t25b - 3t25a	0,11	115,18	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	115,19	103,05	9,42	112,47
3t25 - 3t25a	0,11	15,78	1,11	1,13	1,26	1,28	0,02	15,83	14,16	0,18	14,34
3t25a - 3t26	0,14	211,9	1,14	1,35	1,29	1,50	0,21	211,90	202,28	33,23	235,51
3t41 - 3t26	0,11	105,05	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	105,06	93,98	7,84	101,82
3t26 - 3s4	0,14	199,78	1,14	1,34	1,29	1,49	0,20	199,78	190,71	29,53	220,25
3t36 - 3t40	0,11	184,18	1,11	1,29	1,26	1,44	0,18	184,18	164,77	24,08	188,86
3t37 - 3t39	0,11	191,07	1,11	1,30	1,26	1,45	0,19	191,07	170,93	25,92	196,86
3t38 - 3t39	0,11	145,02	1,11	1,26	1,26	1,41	0,15	145,03	129,74	14,93	144,67
3t39 - 3t40	0,11	51,56	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	51,58	46,14	1,89	48,03
3t40 - 3t40a	0,11	109,92	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	109,93	98,34	8,58	106,92
3t40b - 3t40a	0,11	157,57	1,11	1,27	1,26	1,42	0,16	157,58	140,97	17,63	158,59
3t40a - 3t43	0,11	214,88	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	214,88	192,23	32,78	225,02
3t42 - 3t43	0,11	207,83	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	207,83	185,93	30,67	216,60

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
3t44 - 3t45	0,11	206,41	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	206,41	184,66	30,25	214,91
3t46 - 3t47	0,11	206,17	1,11	1,32	1,26	1,47	0,21	206,17	184,44	30,18	214,62
3t43 - 3t45	0,14	50,26	1,14	1,19	1,29	1,34	0,05	50,28	47,99	1,87	49,86
3t45 - 3t47	0,14	46,93	1,14	1,19	1,29	1,34	0,05	46,95	44,82	1,63	46,45
3t47 - 3s5	0,14	51,09	1,14	1,19	1,29	1,34	0,05	51,11	48,79	1,93	50,72
3t48 - 3t50	0,11	45,39	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	45,41	40,62	1,46	42,08
3t49 - 3t50	0,11	90,06	1,11	1,20	1,26	1,35	0,09	90,07	80,58	5,76	86,33
3t51 - 3t52	0,11	68,41	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	68,42	61,21	3,32	64,53
3t53 - 3t54	0,11	158,76	1,11	1,27	1,26	1,42	0,16	158,76	142,03	17,90	159,93
3t50 - 3t52	0,11	52,05	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	52,07	46,58	1,92	48,50
3t52 - 3t54	0,11	88,37	1,11	1,20	1,26	1,35	0,09	88,38	79,06	5,54	84,61
3t54b - 3t54a	0,11	103,18	1,11	1,21	1,26	1,36	0,10	103,19	92,31	7,56	99,87
3t54 - 3t54a	0,11	47,12	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	47,14	42,17	1,58	43,75
3t54a - 3t56	0,11	131,53	1,11	1,24	1,26	1,39	0,13	131,54	117,67	12,28	129,96
3t55 - 3t56	0,11	142,44	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	142,45	127,43	14,41	141,84
3t56 - 3t56a	0,11	14,06	1,11	1,12	1,26	1,27	0,01	14,12	12,63	0,14	12,77
3t56b - 3t56a	0,11	83,97	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	83,98	75,13	5,01	80,13
3t56a - 3t58	0,11	60,42	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	60,43	54,06	2,59	56,66
3t57 - 3t58	0,11	82	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	82,01	73,37	4,77	78,14
3t59 - 3t60	0,11	76,8	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	76,81	68,71	4,19	72,90
3t61 - 3t65	0,11	75,25	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	75,26	67,33	4,02	71,35
3t58 - 3t60	0,14	57,68	1,14	1,20	1,29	1,35	0,06	57,69	55,08	2,46	57,54
3t60 - 3t65	0,14	55,76	1,14	1,20	1,29	1,35	0,06	55,77	53,24	2,30	55,54
3t62 - 3t64	0,11	218,99	1,11	1,33	1,26	1,48	0,22	218,99	195,91	34,05	229,96
3t63 - 3t64	0,11	135,31	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	135,32	121,05	13,00	134,05
3t64 - 3t65	0,11	54,17	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	54,18	48,47	2,08	50,56

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
3t65 - 3t68	0,14	150,23	1,14	1,29	1,29	1,44	0,15	150,24	143,41	16,70	160,12
3t67 - 3t68	0,11	25,39	1,11	1,14	1,26	1,29	0,03	25,42	22,74	0,46	23,20
3t69 - 3t71	0,11	186,72	1,11	1,30	1,26	1,45	0,19	186,72	167,04	24,75	191,80
3t70 - 3t71	0,11	141,78	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	141,79	126,84	14,27	141,11
3t72 - 3t73	0,11	141,95	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	141,96	126,99	14,31	141,30
3t74 - 3t75	0,11	142,08	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	142,09	127,11	14,33	141,44
3t76 - 3t77	0,11	142,09	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	142,10	127,12	14,33	141,45
3t71 - 3t73	0,11	28,49	1,11	1,14	1,26	1,29	0,03	28,52	25,51	0,58	26,09
3t73 - 3t75	0,11	26,28	1,11	1,14	1,26	1,29	0,03	26,31	23,54	0,49	24,03
3t75 - 3t77	0,14	29,12	1,14	1,17	1,29	1,32	0,03	29,15	27,83	0,63	28,45
3t77 - 3t78	0,14	40,29	1,14	1,18	1,29	1,33	0,04	40,31	38,48	1,20	39,68
3t68 - 3t78	0,16	148,01	1,16	1,31	1,31	1,46	0,15	148,02	147,36	16,65	164,01
3t78 - 3s6	0,5	43,79	1,50	1,54	1,65	1,69	0,04	43,82	79,54	2,11	81,64
2t1 - 2t3	0,11	237,36	1,11	1,35	1,26	1,50	0,24	237,36	212,35	40,00	252,35
2t2 - 2t3	0,11	191,89	1,11	1,30	1,26	1,45	0,19	191,89	171,67	26,14	197,81
2t4 - 2t5	0,11	194,34	1,11	1,30	1,26	1,45	0,19	194,34	173,86	26,82	200,68
2t6 - 2t7	0,11	191,4	1,11	1,30	1,26	1,45	0,19	191,40	171,23	26,01	197,24
2t8 - 2t11	0,11	50,11	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	50,13	44,84	1,78	46,63
2t9 - 2t19	0,11	272,47	1,11	1,38	1,26	1,53	0,27	272,47	243,75	52,71	296,46
2t10 - 2t11	0,11	124,42	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	124,43	111,31	10,99	122,30
2t12 - 2t13	0,11	126,42	1,11	1,24	1,26	1,39	0,13	126,43	113,10	11,35	124,45
2t14 - 2t15	0,11	110,61	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	110,62	98,96	8,69	107,64
2t16 - 2t19	0,11	109,48	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	109,49	97,95	8,51	106,46
2t17 - 2t18	0,11	75,42	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	75,43	67,48	4,04	71,52
2t19 - 2t20	0,11	98,15	1,11	1,21	1,26	1,36	0,10	98,16	87,81	6,84	94,65
2t11 - 2t13	0,11	34,9	1,11	1,14	1,26	1,29	0,03	34,92	31,24	0,86	32,11

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
2t13 - 2t15	0,11	33,57	1,11	1,14	1,26	1,29	0,03	33,59	30,05	0,80	30,85
2t15 - 2t18	0,11	38,65	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	38,67	34,59	1,06	35,66
2t18 - 2t20	0,11	78,58	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	78,59	70,31	4,38	74,69
2t20 - 2s1	0,14	134,79	1,14	1,27	1,29	1,42	0,13	134,80	128,68	13,44	142,12
2t3 - 2t5	0,11	44,77	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	44,79	40,07	1,42	41,49
2t5 - 2t7	0,14	41,41	1,14	1,18	1,29	1,33	0,04	41,43	39,55	1,27	40,82
2t7 - 2s1	0,14	136,78	1,14	1,28	1,29	1,43	0,14	136,79	130,58	13,84	144,42
2t22 - 2s2	0,11	278,19	1,11	1,39	1,26	1,54	0,28	278,19	248,87	54,95	303,82
2t24 - 2s3	0,11	258,24	1,11	1,37	1,26	1,52	0,26	258,24	231,02	47,35	278,37
2t25 - 2s4	0,11	255,44	1,11	1,37	1,26	1,52	0,26	255,44	228,52	46,33	274,85
2t23 - 2t35	0,11	282,41	1,11	1,39	1,26	1,54	0,28	282,41	252,65	56,63	309,27
2t26 - 2t35	0,11	143,25	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	143,26	128,16	14,57	142,73
2t27 - 2t36	0,11	139,19	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	139,20	124,52	13,76	138,28
2t28 - 2t37	0,11	132,83	1,11	1,24	1,26	1,39	0,13	132,84	118,84	12,53	131,36
2t29 - 2t31	0,11	35,19	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	35,21	31,50	0,88	32,38
2t30 - 2t31	0,11	73,3	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	73,31	65,58	3,81	69,40
2t32 - 2t33	0,11	70,66	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	70,67	63,22	3,54	66,77
2t31 - 2t33	0,11	43,4	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	43,42	38,84	1,34	40,18
2t33 - 2t34	0,11	52,89	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	52,91	47,33	1,99	49,31
2t35 - 2t36	0,11	37,11	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	37,13	33,22	0,98	34,20
2t36 - 2t37	0,11	45,05	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	45,07	40,32	1,44	41,76
2t37 - 2t34	0,11	47,54	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	47,56	42,54	1,60	44,15
2t34 - 2s5	0,14	86,69	1,14	1,23	1,29	1,38	0,09	86,70	82,76	5,56	88,32
2t38 - 2s6	0,11	242,33	1,11	1,35	1,26	1,50	0,24	242,33	216,79	41,69	258,49
1t1 - 1s1	0,11	257,4	1,11	1,37	1,26	1,52	0,26	257,40	230,27	47,04	277,31
1t2 - 1t5	0,11	306,36	1,11	1,42	1,26	1,57	0,31	306,36	274,07	66,64	340,71

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
1t3 - 1t6	0,11	325,18	1,11	1,44	1,26	1,59	0,33	325,18	290,91	75,08	365,99
1t4 - 1t5	0,11	61,69	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	61,70	55,20	2,70	57,90
1t7 - 1t9	0,11	138,12	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	138,13	123,57	13,54	137,11
1t8 - 1t9	0,11	113,15	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	113,16	101,23	9,09	110,32
1t10 - 1t11	0,11	141,54	1,11	1,25	1,26	1,40	0,14	141,55	126,63	14,22	140,85
1t9 - 1t12	0,11	216,38	1,11	1,33	1,26	1,48	0,22	216,38	193,58	33,24	226,82
1t13 - 1t14	0,11	339,07	1,11	1,45	1,26	1,60	0,34	339,07	303,33	81,63	384,96
1t5 - 1t6	0,11	40,78	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	40,80	36,50	1,18	37,68
1t6 - 1t11	0,11	40,49	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	40,51	36,24	1,16	37,40
1t11 - 1t12	0,14	39,38	1,14	1,18	1,29	1,33	0,04	39,40	37,61	1,15	38,76
1t12 - 1t14	0,16	43,49	1,16	1,16	1,31	1,31	0,00	43,51	43,32	0,00	43,32
1t14 - 1s2	0,2	52,52	1,20	1,25	1,35	1,40	0,05	52,54	56,74	2,21	58,95
1t15 - 1t17	0,11	46,93	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	46,95	42,00	1,56	43,56
1t16 - 1t17	0,11	123,13	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	123,14	110,16	10,76	120,92
1t17 - 1t19	0,11	447,78	1,11	1,56	1,26	1,71	0,45	447,78	400,59	142,36	542,95
1t18 - 1t19	0,11	380,55	1,11	1,49	1,26	1,64	0,38	380,55	340,44	102,82	443,26
1t19 - 1s2	0,11	176,47	1,11	1,29	1,26	1,44	0,18	176,47	157,87	22,11	179,98
1t20 - 1t22	0,11	40,24	1,11	1,15	1,26	1,30	0,04	40,26	36,02	1,15	37,17
1t21 - 1t22	0,11	117,68	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	117,69	105,28	9,83	115,12
1t23 - 1t24	0,11	121,92	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	121,93	109,08	10,55	119,63
1t22 - 1t24	0,11	9,09	1,11	1,12	1,26	1,27	0,01	9,18	8,21	0,06	8,27
1t24 - 1t26	0,11	71,13	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	71,14	63,64	3,59	67,24
1t25 - 1t26	0,11	145,27	1,11	1,26	1,26	1,41	0,15	145,28	129,96	14,98	144,95
1t26 - 1t28	0,11	33,89	1,11	1,14	1,26	1,29	0,03	33,91	30,34	0,82	31,15
1t27 - 1t28	0,11	51,41	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	51,43	46,01	1,88	47,88
1t28 - 1s3	0,14	177,09	1,14	1,22	1,29	1,37	0,08	177,09	169,05	10,10	179,16

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
1t29 - 1s3	0,11	221,45	1,11	1,33	1,26	1,48	0,22	221,45	198,11	34,82	232,93
1t30 - 1t32	0,11	90,29	1,11	1,20	1,26	1,35	0,09	90,30	80,78	5,79	86,57
1t31 - 1t32	0,11	72,81	1,11	1,18	1,26	1,33	0,07	72,82	65,15	3,76	68,91
1t32 - 1s4	0,11	59,54	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	59,55	53,28	2,52	55,79
1t33 - 1s4	0,11	118,6	1,11	1,23	1,26	1,38	0,12	118,61	106,11	9,99	116,09
1t34 - 1t36	0,11	240,42	1,11	1,35	1,26	1,50	0,24	240,42	215,08	41,04	256,12
1t35 - 1t36	0,11	80,57	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	80,58	72,09	4,61	76,70
1t36 - 1s5	0,11	58,18	1,11	1,17	1,26	1,32	0,06	58,19	52,06	2,40	54,46
1t37 - 1s6	0,11	159,96	1,11	1,27	1,26	1,42	0,16	159,96	143,10	18,17	161,27
1t38 - 1s7	0,11	45,81	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	45,83	41,00	1,49	42,49
1t39 - 1s7	0,11	52,67	1,11	1,16	1,26	1,31	0,05	52,69	47,13	1,97	49,10
1t40 - 1s8	0,11	106,92	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	106,93	95,66	8,12	103,77
1t41 - 1s9	0,11	110,43	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	110,44	98,80	8,66	107,46
1t42 - 1s10	0,11	113,85	1,11	1,22	1,26	1,37	0,11	113,86	101,86	9,20	111,06
1t43 - 1s10	0,11	82,51	1,11	1,19	1,26	1,34	0,08	82,52	73,82	4,83	78,66
1t44 - 1s11	0,11	133,39	1,11	1,24	1,26	1,39	0,13	133,40	119,34	12,63	131,97
1t45 - Bp1	0,11	427,81	1,11	1,54	1,26	1,69	0,43	427,81	382,72	129,95	512,67
1t46 - Ap9	0,11	783,06	1,11	1,71	1,26	1,86	0,60	783,06	700,53	335,28	1035,81
Sekunder											
4s1 - 4s2	0,11	162,21	1,35	1,51	1,50	1,66	0,16	162,22	172,76	18,68	191,44
4s2 - 4s3	0,11	81,51	1,51	1,59	1,66	1,74	0,08	81,53	96,21	4,72	100,93
4s3 - 4s4	0,14	19,61	1,59	1,59	1,74	1,74	0,00	19,69	25,40	0,00	25,40
4s4 - 4s5	0,2	231,13	1,59	1,82	1,74	1,97	0,23	231,14	322,42	42,74	365,16
4s5 - 4s6	0,16	27,14	1,82	1,82	1,97	1,97	0,00	27,21	40,84	0,00	40,84
4s6 - 4s7	0,25	164,85	1,82	1,99	1,97	2,14	0,16	164,86	276,74	23,10	299,84
4s7 - Ap5	0,2	86,57	1,99	1,99	2,14	2,14	0,00	86,60	148,23	0,00	148,23

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
3s1 - 3s2	0,11	54,73	1,28	1,33	1,43	1,48	0,05	54,75	55,53	2,13	57,66
3s2 - 3s3	0,11	100	1,33	1,43	1,48	1,58	0,10	100,01	105,33	7,10	112,43
3s3 - 3s4	0,11	24,08	1,43	1,43	1,58	1,58	0,00	24,13	27,13	0,00	27,13
3s4 - 3s5	0,225	236,58	1,43	1,67	1,58	1,82	0,24	236,59	309,03	46,18	355,21
3s5 - 3s6	0,25	194,43	1,67	1,86	1,82	2,01	0,19	194,44	300,78	32,13	332,91
3s6 - Ap8	0,28	56,87	1,86	1,87	2,01	2,02	0,01	56,91	100,87	0,34	101,21
2s1 - 2s2	0,2	52,29	1,27	1,33	1,42	1,48	0,05	52,31	59,62	2,19	61,81
2s2 - 2s3	0,2	48,08	1,33	1,38	1,48	1,53	0,05	48,10	56,84	1,85	58,69
2s3 - 2s4	0,5	42,77	1,38	1,42	1,53	1,57	0,04	42,80	71,80	2,01	73,81
2s4 - 2s5	0,2	136,43	1,42	1,55	1,57	1,70	0,14	136,44	171,14	14,89	186,03
2s5 - 2s6	0,225	39,38	1,55	1,59	1,70	1,74	0,04	39,42	55,42	1,28	56,70
2s6 - Ap10	0,11	4,67	1,59	1,59	1,74	1,74	0,00	4,98	6,17	0,00	6,17
1s1 - 1s2	0,11	352,15	1,37	1,67	1,52	1,82	0,30	352,15	379,39	75,55	454,94
1s2 - 1s3	0,2	128,16	1,67	1,67	1,82	1,82	0,00	128,17	186,57	0,00	186,57
1s3 - 1s4	0,225	122,58	1,67	1,79	1,82	1,94	0,12	122,59	184,03	12,40	196,42
1s4 - 1s5	0,25	151,58	1,79	1,94	1,94	2,09	0,15	151,59	250,25	19,53	269,78
1s5 - 1s6	0,25	89,04	1,94	2,03	2,09	2,18	0,09	89,06	158,50	6,74	165,24
1s6 - 1s7	0,28	85,72	2,03	2,12	2,18	2,27	0,09	85,75	164,71	6,47	171,17
1s7 - 1s8	0,28	146,19	2,12	2,26	2,27	2,41	0,15	146,21	291,87	18,81	310,67
1s8 - 1s9	0,28	81,83	2,26	2,35	2,41	2,50	0,08	81,87	173,96	5,89	179,85
1s9 - 1s10	0,25	42,74	2,35	2,35	2,50	2,50	0,00	42,81	90,85	0,00	90,85
1s10 - 1s11	0,28	74,76	2,35	2,42	2,50	2,57	0,07	74,80	164,33	4,92	169,25
1s11 - Bp1	0,28	53,94	2,42	2,48	2,57	2,63	0,05	54,00	122,19	2,56	124,75
Primer											
Ap5 - Ap6	0,28	235,17	1,99	2,88	2,14	3,03	0,90	235,18	442,82	185,26	628,08
Ap6 - Ap7	0,28	268,31	2,88	3,15	3,03	3,30	0,27	268,33	716,61	63,35	779,96

No Saluran	Diameter	Panjang	kedalaman penggalian		Y1	Y2	X	Z	Vol. galian		Vol. galian total
	m	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II	m ³
Ap7 - Ap8	0,225	77,21	3,15	3,15	3,30	3,30	0,00	77,28	210,60	0,00	210,60
Ap8 - Ap9	0,355	381,25	3,15	3,71	3,30	3,86	0,56	381,26	1202,70	204,35	1407,05
Ap9 - Ap10	0,28	97,44	3,71	3,71	3,86	3,86	0,00	97,52	331,62	0,00	331,62
Ap10 - iP	0,4	14,76	3,71	3,48	3,86	3,63	0,24	15,26	58,96	3,47	62,43
Bp1 - iP	0,28	245,43	2,48	2,77	2,63	2,92	0,30	245,44	567,02	63,81	630,82
iP - IPAL	0,5	62,69	3,08	3,14	3,23	3,29	0,06	62,77	222,97	4,32	227,30
TOTAL											48.122,31

Lampiran 2. 6 Volume dan Luasan Pekerjaan Pengadaan SPAL

No Saluran	Diameter	Panjang	Vol. galian total	Vol. pipa	Vol. urugan pasir	Vol. tanah urug	Vol. Sisa tanah galian	Perkerasan Jalan
	m	m	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ²
Tersier								
4t1 - 4s1	0,11	239,97	240,08	0,73	79,95	174,89	80,68	170,38
4t2 - 4s1	0,11	179,99	180,10	0,54	59,97	123,51	60,51	127,79
4t3 - 4t5	0,11	43,28	43,39	0,13	14,42	25,51	14,55	30,73
4t4 - 4t5	0,11	116,74	116,85	0,35	38,89	74,87	39,25	82,89
4t6 - 4t7	0,11	115,52	115,63	0,35	38,49	73,99	38,84	82,02
4t8 - 4t9	0,11	118,28	118,39	0,36	39,41	75,99	39,77	83,98
4t5 - 4t7	0,11	54,27	54,38	0,16	18,08	32,41	18,25	38,53
4t7 - 4t9	0,11	54,23	54,34	0,16	18,07	32,38	18,23	38,50
4t9 - 4s2	0,11	63,642	63,75	0,19	21,20	38,42	21,40	45,19
4t10 - 4t23	0,11	214,57	214,68	0,65	71,49	152,51	72,14	152,34
4t11 - 4t11b	0,11	36,33	36,44	0,11	12,10	21,24	12,21	25,79
4t12 - 4t11b	0,11	230,66	230,77	0,70	76,85	166,58	77,55	163,77
4t14 - 4t15	0,11	226,28	226,39	0,68	75,39	162,71	76,08	160,66
4t16 - 4t17	0,11	225,56	225,67	0,68	75,15	162,08	75,83	160,15

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m ³	Vol. pipa m ³	Vol. urugan pasir m ³	Vol. tanah urug m ³	Vol. Sisa tanah galian m ³	Perkerasan Jalan m ²
4t18 - 4t19	0,11	226,95	227,06	0,69	75,61	163,30	76,30	161,13
4t13 - 4t21	0,11	237,13	237,24	0,72	79,01	172,34	79,72	168,36
4t20 - 4t21	0,11	211,48	211,59	0,64	70,46	149,85	71,10	150,15
4t21 - 4t22	0,11	237,09	237,20	0,72	78,99	172,30	79,71	168,33
4t11b - 4t15	0,11	54,45	54,56	0,16	18,14	32,52	18,31	38,66
4t15 - 4t17	0,11	51,42	51,53	0,16	17,13	30,60	17,29	36,51
4t17 - 4t19	0,14	53,98	54,12	0,26	20,64	32,80	20,90	39,95
4t19 - 4t22	0,14	52,26	52,40	0,26	19,98	31,69	20,24	38,67
4t22 - 4t23	0,14	55,19	55,33	0,27	21,10	33,58	21,37	40,84
4t23 - 4t25	0,16	81,84	82,00	0,52	34,11	51,95	34,63	62,20
4t24 - 4t25	0,11	337,29	337,40	1,02	112,38	269,12	113,40	239,48
4t25 - 4s3	0,2	205,27	205,47	2,05	100,58	152,77	102,64	164,22
4t26 - 4s4	0,11	496,79	496,90	1,50	165,52	452,64	167,02	352,72
4t27 - 4t29	0,11	225	225,11	0,68	74,96	161,59	75,65	159,75
4t28 - 4t29	0,11	281,41	281,52	0,85	93,76	213,37	94,61	199,80
4t29 - 4t35	0,11	221,41	221,52	0,67	73,77	158,44	74,44	157,20
4t30 - 4t32	0,11	263,64	263,75	0,80	87,84	196,57	88,64	187,18
4t31 - 4t32	0,11	208,59	208,70	0,63	69,50	147,37	70,13	148,10
4t33 - 4t34	0,11	208,59	208,70	0,63	69,50	147,37	70,13	148,10
4t32 - 4t34	0,11	52,21	52,32	0,16	17,40	31,10	17,55	37,07
4t34 - 4t35	0,11	66,84	66,95	0,20	22,27	40,51	22,47	47,46
4t35 - 4t37	0,14	49,59	49,73	0,24	18,96	29,97	19,20	36,70
4t36 - 4t37	0,11	192,89	193,00	0,58	64,27	134,13	64,85	136,95
4t38 - 4t40	0,11	203,04	203,15	0,61	67,65	142,65	68,26	144,16
4t39 - 4t40	0,11	152,15	152,26	0,46	50,69	101,40	51,15	108,03
4t41 - 4t42	0,11	152,57	152,68	0,46	50,83	101,73	51,29	108,32

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m ³	Vol. pipa m ³	Vol. urugan pasir m ³	Vol. tanah urug m ³	Vol. Sisa tanah galian m ³	Perkerasan Jalan m ²
4t37 - 4t43	0,14	173,36	173,50	0,85	66,28	120,61	67,12	128,29
4t40 - 4t42	0,11	51,04	51,15	0,15	17,01	30,36	17,16	36,24
4t42 - 4t43	0,11	63,79	63,90	0,19	21,25	38,52	21,45	45,29
4t52 - 4t53	0,11	173,69	173,80	0,53	57,87	118,41	58,39	123,32
4t44 - 4t53	0,11	411,16	411,27	1,24	136,99	349,62	138,23	291,92
4t45 - 4t47	0,11	31,62	31,73	0,10	10,53	18,39	10,63	22,45
4t46 - 4t47	0,11	205,68	205,79	0,62	68,53	144,89	69,15	146,03
4t50 - 4t51	0,11	211,21	211,32	0,64	70,37	149,62	71,01	149,96
4t48 - 4t49	0,11	206,26	206,37	0,62	68,72	145,38	69,34	146,44
4t47 - 4t49	0,11	52,09	52,20	0,16	17,36	31,03	17,51	36,98
4t49 - 4t51	0,11	55,04	55,15	0,17	18,34	32,90	18,50	39,08
4t51 - Ap7	0,11	60,61	60,72	0,18	20,19	36,46	20,38	43,03
4t53 - Ap6	0,11	62,67	62,78	0,19	20,88	37,79	21,07	44,50
4t43 - 4s5	0,16	59,94	60,10	0,38	24,98	37,05	25,37	45,55
4t54 - 4s6	0,11	218,99	219,10	0,66	72,96	122,29	73,62	155,48
4t55 - 4t57	0,11	50,33	50,44	0,15	16,77	29,92	16,92	35,73
4t56 - 4t57	0,11	149,56	149,67	0,45	49,83	99,40	50,28	106,19
4t58 - 4t59	0,11	152,21	152,32	0,46	50,71	101,45	51,17	108,07
4t60 - 4t61	0,11	156,05	156,16	0,47	51,99	104,43	52,46	110,80
4t57 - 4t59	0,11	52,32	52,43	0,16	17,43	31,17	17,59	37,15
4t59 - 4t61	0,11	50,35	50,46	0,15	16,78	29,93	16,93	35,75
4t61 - 4s7	0,11	56,75	56,86	0,17	18,91	33,99	19,08	40,29
3t1 - 3t5	0,11	175,45	175,56	0,53	58,46	119,83	58,99	124,57
3t2 - 3t4	0,11	173,78	173,89	0,53	57,90	118,48	58,42	123,38
3t3 - 3t4	0,11	211,4	211,51	0,64	70,43	149,78	71,07	150,09
3t4 - 3t5	0,11	53,12	53,23	0,16	17,70	31,68	17,86	37,72

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m ³	Vol. pipa m ³	Vol. urugan pasir m ³	Vol. tanah urug m ³	Vol. Sisa tanah galian m ³	Perkerasan Jalan m ²
3t5 - 3s1	0,11	66,48	66,59	0,20	22,15	40,27	22,35	47,20
3t1a - 3s1	0,11	168,57	168,68	0,51	56,16	114,31	56,67	119,68
3t6 - 3s2	0,11	168,49	168,60	0,51	56,14	114,25	56,65	119,63
3t8 - 3t10	0,11	236,88	236,99	0,72	78,92	172,12	79,64	168,18
3t7 - 3t10	0,11	211,21	211,32	0,64	70,37	149,62	71,01	149,96
3t10 - 3t23	0,11	472,01	472,12	1,43	157,26	421,76	158,69	335,13
3t9 - 3t12	0,11	300,47	300,58	0,91	100,11	231,89	101,02	213,33
3t11 - 3t12	0,11	230,7	230,81	0,70	76,86	166,61	77,56	163,80
3t13 - 3t15	0,11	73,78	73,89	0,22	24,58	45,07	24,80	52,38
3t14 - 3t15	0,11	170,86	170,97	0,52	56,93	116,14	57,44	121,31
3t16 - 3t17	0,11	168,57	168,68	0,51	56,16	114,31	56,67	119,68
3t18 - 3t19	0,11	165,42	165,53	0,50	55,11	111,80	55,61	117,45
3t12 - 3t20	0,11	172,87	172,98	0,52	57,60	117,75	58,12	122,74
3t15 - 3t17	0,11	53,89	54,00	0,16	17,95	32,17	18,12	38,26
3t17 - 3t19	0,11	54,5	54,61	0,16	18,16	32,55	18,32	38,70
3t19 - 3t20	0,11	47,03	47,14	0,14	15,67	27,85	15,81	33,39
3t20 - 3t22	0,14	205,87	206,01	1,01	78,70	148,18	79,71	152,34
3t21 - 3t22	0,11	111,97	112,08	0,34	37,31	71,43	37,64	79,50
3t21a - 3t22a	0,11	171,78	171,89	0,52	57,23	116,88	57,75	121,96
3t22 - 3t22a	0,14	399,02	399,16	1,96	152,55	344,23	154,50	295,27
3t22a - 3t23	0,16	2110,4	2110,56	13,51	879,61	4592,87	893,12	1603,90
3t23 - 3s3	0,2	181,89	182,09	1,82	89,13	131,97	90,95	145,51
3t24 - 3t25	0,11	221,25	221,36	0,67	73,71	158,30	74,38	157,09
3t27 - 3t33	0,11	105,92	106,03	0,32	35,29	67,12	35,61	75,20
3t35 - 3t34	0,11	193,78	193,89	0,59	64,56	134,87	65,15	137,58
3t28 - 3t30	0,11	42,96	43,07	0,13	14,31	25,32	14,44	30,50

No Saluran	Diameter	Panjang	Vol. galian total	Vol. pipa	Vol. urugan pasir	Vol. tanah urug	Vol. Sisa tanah galian	Perkerasan Jalan
	m	m	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ²
3t29 - 3t30	0,11	72,29	72,40	0,22	24,09	44,09	24,30	51,33
3t30 - 3t32	0,11	88,96	89,07	0,27	29,64	55,30	29,91	63,16
3t31 - 3t32	0,11	150,98	151,09	0,46	50,30	100,50	50,76	107,20
3t32 - 3t33	0,11	53,55	53,66	0,16	17,84	31,95	18,00	38,02
3t33 - 3t34	0,11	53,53	53,64	0,16	17,83	31,94	18,00	38,01
3t34 - 3t25	0,11	55,8	55,91	0,17	18,59	33,38	18,76	39,62
3t25b - 3t25a	0,11	115,18	115,29	0,35	38,38	73,74	38,72	81,78
3t25 - 3t25a	0,11	15,78	15,89	0,05	5,26	9,03	5,31	11,20
3t25a - 3t26	0,14	211,9	212,04	1,04	81,01	153,46	82,05	156,81
3t41 - 3t26	0,11	105,05	105,16	0,32	35,00	66,50	35,32	74,59
3t26 - 3s4	0,14	199,78	199,92	0,98	76,38	142,89	77,35	147,84
3t36 - 3t40	0,11	184,18	184,29	0,56	61,36	126,93	61,92	130,77
3t37 - 3t39	0,11	191,07	191,18	0,58	63,66	132,62	64,24	135,66
3t38 - 3t39	0,11	145,02	145,13	0,44	48,32	95,92	48,76	102,96
3t39 - 3t40	0,11	51,56	51,67	0,16	17,18	30,69	17,33	36,61
3t40 - 3t40a	0,11	109,92	110,03	0,33	36,62	69,96	36,96	78,04
3t40b - 3t40a	0,11	157,57	157,68	0,48	52,50	105,62	52,98	111,87
3t40a - 3t43	0,11	214,88	214,99	0,65	71,59	152,78	72,24	152,56
3t42 - 3t43	0,11	207,83	207,94	0,63	69,24	146,72	69,87	147,56
3t44 - 3t45	0,11	206,41	206,52	0,62	68,77	145,51	69,40	146,55
3t46 - 3t47	0,11	206,17	206,28	0,62	68,69	145,31	69,31	146,38
3t43 - 3t45	0,14	50,26	50,40	0,25	19,21	30,40	19,46	37,19
3t45 - 3t47	0,14	46,93	47,07	0,23	17,94	28,27	18,17	34,73
3t47 - 3s5	0,14	51,09	51,23	0,25	19,53	30,94	19,78	37,81
3t48 - 3t50	0,11	45,39	45,50	0,14	15,12	26,82	15,26	32,23
3t49 - 3t50	0,11	90,06	90,17	0,27	30,01	56,06	30,28	63,94

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m ³	Vol. pipa m ³	Vol. urugan pasir m ³	Vol. tanah urug m ³	Vol. Sisa tanah galian m ³	Perkerasan Jalan m ²
3t51 - 3t52	0,11	68,41	68,52	0,21	22,79	41,53	23,00	48,57
3t53 - 3t54	0,11	158,76	158,87	0,48	52,89	106,55	53,38	112,72
3t50 - 3t52	0,11	52,05	52,16	0,16	17,34	31,00	17,50	36,96
3t52 - 3t54	0,11	88,37	88,48	0,27	29,44	54,90	29,71	62,74
3t54b - 3t54a	0,11	103,18	103,29	0,31	34,38	65,18	34,69	73,26
3t54 - 3t54a	0,11	47,12	47,23	0,14	15,70	27,90	15,84	33,46
3t54a - 3t56	0,11	131,53	131,64	0,40	43,82	85,73	44,22	93,39
3t55 - 3t56	0,11	142,44	142,55	0,43	47,46	93,95	47,89	101,13
3t56 - 3t56a	0,11	14,06	14,17	0,04	4,68	8,04	4,73	9,98
3t56b - 3t56a	0,11	83,97	84,08	0,25	27,98	51,90	28,23	59,62
3t56a - 3t58	0,11	60,42	60,53	0,18	20,13	36,34	20,31	42,90
3t57 - 3t58	0,11	82	82,11	0,25	27,32	50,57	27,57	58,22
3t59 - 3t60	0,11	76,8	76,91	0,23	25,59	47,08	25,82	54,53
3t61 - 3t65	0,11	75,25	75,36	0,23	25,07	46,05	25,30	53,43
3t58 - 3t60	0,14	57,68	57,82	0,28	22,05	35,20	22,33	42,68
3t60 - 3t65	0,14	55,76	55,90	0,27	21,32	33,95	21,59	41,26
3t62 - 3t64	0,11	218,99	219,10	0,66	72,96	156,34	73,62	155,48
3t63 - 3t64	0,11	135,31	135,42	0,41	45,08	88,56	45,49	96,07
3t64 - 3t65	0,11	54,17	54,28	0,16	18,05	32,35	18,21	38,46
3t65 - 3t68	0,14	150,23	150,37	0,74	57,43	101,95	58,17	111,17
3t67 - 3t68	0,11	25,39	25,50	0,08	8,46	14,66	8,54	18,03
3t69 - 3t71	0,11	186,72	186,83	0,56	62,21	129,02	62,78	132,57
3t70 - 3t71	0,11	141,78	141,89	0,43	47,24	93,45	47,67	100,66
3t72 - 3t73	0,11	141,95	142,06	0,43	47,29	93,58	47,72	100,78
3t74 - 3t75	0,11	142,08	142,19	0,43	47,34	93,68	47,77	100,88
3t76 - 3t77	0,11	142,09	142,20	0,43	47,34	93,68	47,77	100,88

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m ³	Vol. pipa m ³	Vol. urugan pasir m ³	Vol. tanah urug m ³	Vol. Sisa tanah galian m ³	Perkerasan Jalan m ²
3t71 - 3t73	0,11	28,49	28,60	0,09	9,49	16,51	9,58	20,23
3t73 - 3t75	0,11	26,28	26,39	0,08	8,76	15,19	8,84	18,66
3t75 - 3t77	0,14	29,12	29,26	0,14	11,13	17,18	11,28	21,55
3t77 - 3t78	0,14	40,29	40,43	0,20	15,40	24,08	15,60	29,81
3t68 - 3t78	0,16	148,01	148,17	0,95	61,69	101,38	62,64	112,49
3t78 - 3s6	0,5	43,79	44,29	2,74	53,31	25,59	56,05	48,17
2t1 - 2t3	0,11	237,36	237,47	0,72	79,08	172,55	79,80	168,53
2t2 - 2t3	0,11	191,89	192,00	0,58	63,93	133,30	64,51	136,24
2t4 - 2t5	0,11	194,34	194,45	0,59	64,75	135,34	65,34	137,98
2t6 - 2t7	0,11	191,4	191,51	0,58	63,77	132,89	64,35	135,89
2t8 - 2t11	0,11	50,11	50,22	0,15	16,70	29,78	16,85	35,58
2t9 - 2t19	0,11	272,47	272,58	0,82	90,78	204,86	91,60	193,45
2t10 - 2t11	0,11	124,42	124,53	0,38	41,45	80,47	41,83	88,34
2t12 - 2t13	0,11	126,42	126,53	0,38	42,12	81,95	42,50	89,76
2t14 - 2t15	0,11	110,61	110,72	0,33	36,85	70,46	37,19	78,53
2t16 - 2t19	0,11	109,48	109,59	0,33	36,48	69,65	36,81	77,73
2t17 - 2t18	0,11	75,42	75,53	0,23	25,13	46,16	25,36	53,55
2t19 - 2t20	0,11	98,15	98,26	0,30	32,70	61,65	33,00	69,69
2t11 - 2t13	0,11	34,9	35,01	0,11	11,63	20,37	11,73	24,78
2t13 - 2t15	0,11	33,57	33,68	0,10	11,18	19,57	11,29	23,83
2t15 - 2t18	0,11	38,65	38,76	0,12	12,88	22,66	12,99	27,44
2t18 - 2t20	0,11	78,58	78,69	0,24	26,18	48,27	26,42	55,79
2t20 - 2s1	0,14	134,79	134,93	0,66	51,53	89,93	52,19	99,74
2t3 - 2t5	0,11	44,77	44,88	0,14	14,92	26,44	15,05	31,79
2t5 - 2t7	0,14	41,41	41,55	0,20	15,83	24,78	16,03	30,64
2t7 - 2s1	0,14	136,78	136,92	0,67	52,29	91,46	52,96	101,22

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m³	Vol. pipa m³	Vol. urugan pasir m³	Vol. tanah urug m³	Vol. Sisa tanah galian m³	Perkerasan Jalan m²
2t22 - 2s2	0,11	278,19	278,30	0,84	92,69	210,29	93,53	197,51
2t24 - 2s3	0,11	258,24	258,35	0,78	86,04	191,55	86,82	183,35
2t25 - 2s4	0,11	255,44	255,55	0,77	85,11	188,97	85,88	181,36
2t23 - 2t35	0,11	282,41	282,52	0,85	94,09	214,33	94,95	200,51
2t26 - 2t35	0,11	143,25	143,36	0,43	47,73	94,57	48,16	101,71
2t27 - 2t36	0,11	139,19	139,30	0,42	46,37	91,48	46,80	98,82
2t28 - 2t37	0,11	132,83	132,94	0,40	44,26	86,70	44,66	94,31
2t29 - 2t31	0,11	35,19	35,30	0,11	11,72	20,55	11,83	24,98
2t30 - 2t31	0,11	73,3	73,41	0,22	24,42	44,76	24,64	52,04
2t32 - 2t33	0,11	70,66	70,77	0,21	23,54	43,01	23,76	50,17
2t31 - 2t33	0,11	43,4	43,51	0,13	14,46	25,59	14,59	30,81
2t33 - 2t34	0,11	52,89	53,00	0,16	17,62	31,53	17,78	37,55
2t35 - 2t36	0,11	37,11	37,22	0,11	12,36	21,72	12,48	26,35
2t36 - 2t37	0,11	45,05	45,16	0,14	15,01	26,61	15,15	31,99
2t37 - 2t34	0,11	47,54	47,65	0,14	15,84	28,17	15,98	33,75
2t34 - 2s5	0,14	86,69	86,83	0,42	33,14	54,76	33,57	64,15
2t38 - 2s6	0,11	242,33	242,44	0,73	80,74	177,01	81,47	172,05
1t1 - 1s1	0,11	257,4	257,51	0,78	85,76	190,78	86,54	182,75
1t2 - 1t5	0,11	306,36	306,47	0,93	102,07	237,71	103,00	217,52
1t3 - 1t6	0,11	325,18	325,29	0,98	108,34	256,66	109,33	230,88
1t4 - 1t5	0,11	61,69	61,80	0,19	20,55	37,16	20,74	43,80
1t7 - 1t9	0,11	138,12	138,23	0,42	46,02	90,68	46,44	98,07
1t8 - 1t9	0,11	113,15	113,26	0,34	37,70	72,28	38,04	80,34
1t10 - 1t11	0,11	141,54	141,65	0,43	47,16	93,26	47,59	100,49
1t9 - 1t12	0,11	216,38	216,49	0,65	72,09	154,07	72,75	153,63
1t13 - 1t14	0,11	339,07	339,18	1,03	112,97	270,97	114,00	240,74

No Saluran	Diameter	Panjang	Vol. galian total	Vol. pipa	Vol. urugan pasir	Vol. tanah urug	Vol. Sisa tanah galian	Perkerasan Jalan
	m	m	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ²
1t5 - 1t6	0,11	40,78	40,89	0,12	13,59	23,97	13,71	28,95
1t6 - 1t11	0,11	40,49	40,60	0,12	13,49	23,79	13,61	28,75
1t11 - 1t12	0,14	39,38	39,52	0,19	15,05	23,51	15,25	29,14
1t12 - 1t14	0,16	43,49	43,65	0,28	18,13	24,91	18,40	33,05
1t14 - 1s2	0,2	52,52	52,72	0,53	25,73	32,69	26,26	42,02
1t15 - 1t17	0,11	46,93	47,04	0,14	15,64	27,78	15,78	33,32
1t16 - 1t17	0,11	123,13	123,24	0,37	41,02	79,53	41,40	87,42
1t17 - 1t19	0,11	447,78	447,89	1,35	149,19	392,40	150,54	317,92
1t18 - 1t19	0,11	380,55	380,66	1,15	126,79	315,32	127,94	270,19
1t19 - 1s2	0,11	176,47	176,58	0,53	58,80	120,66	59,33	125,29
1t20 - 1t22	0,11	40,24	40,35	0,12	13,41	23,64	13,53	28,57
1t21 - 1t22	0,11	117,68	117,79	0,36	39,21	75,55	39,56	83,55
1t23 - 1t24	0,11	121,92	122,03	0,37	40,62	78,64	40,99	86,56
1t22 - 1t24	0,11	9,09	9,20	0,03	3,03	5,21	3,06	6,45
1t24 - 1t26	0,11	71,13	71,24	0,22	23,70	43,32	23,91	50,50
1t25 - 1t26	0,11	145,27	145,38	0,44	48,40	96,11	48,84	103,14
1t26 - 1t28	0,11	33,89	34,00	0,10	11,29	19,76	11,39	24,06
1t27 - 1t28	0,11	51,41	51,52	0,16	17,13	30,60	17,28	36,50
1t28 - 1s3	0,14	177,09	177,23	0,87	67,70	110,59	68,57	131,05
1t29 - 1s3	0,11	221,45	221,56	0,67	73,78	158,48	74,45	157,23
1t30 - 1t32	0,11	90,29	90,40	0,27	30,08	56,21	30,36	64,11
1t31 - 1t32	0,11	72,81	72,92	0,22	24,26	44,43	24,48	51,70
1t32 - 1s4	0,11	59,54	59,65	0,18	19,84	35,78	20,02	42,27
1t33 - 1s4	0,11	118,6	118,71	0,36	39,51	76,22	39,87	84,21
1t34 - 1t36	0,11	240,42	240,53	0,73	80,10	175,29	80,83	170,70
1t35 - 1t36	0,11	80,57	80,68	0,24	26,84	49,61	27,09	57,20

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m ³	Vol. pipa m ³	Vol. urugan pasir m ³	Vol. tanah urug m ³	Vol. Sisa tanah galian m ³	Perkerasan Jalan m ²
1t36 - 1s5	0,11	58,18	58,29	0,18	19,38	34,90	19,56	41,31
1t37 - 1s6	0,11	159,96	160,07	0,48	53,29	107,49	53,78	113,57
1t38 - 1s7	0,11	45,81	45,92	0,14	15,26	27,09	15,40	32,53
1t39 - 1s7	0,11	52,67	52,78	0,16	17,55	31,39	17,71	37,40
1t40 - 1s8	0,11	106,92	107,03	0,32	35,62	67,83	35,95	75,91
1t41 - 1s9	0,11	110,43	110,54	0,33	36,79	70,33	37,13	78,41
1t42 - 1s10	0,11	113,85	113,96	0,34	37,93	72,78	38,28	80,83
1t43 - 1s10	0,11	82,51	82,62	0,25	27,49	50,92	27,74	58,58
1t44 - 1s11	0,11	133,39	133,50	0,40	44,44	87,12	44,85	94,71
1t45 - Bp1	0,11	427,81	427,92	1,29	142,54	368,84	143,83	303,75
1t46 - Ap9	0,11	783,06	783,17	2,37	260,90	772,55	263,26	555,97
Sekunder								
4s1 - 4s2	0,11	162,21	162,32	0,49	54,04	136,90	54,54	115,17
4s2 - 4s3	0,11	81,51	81,62	0,25	27,16	73,53	27,40	57,87
4s3 - 4s4	0,14	19,61	19,75	0,10	7,50	17,81	7,59	14,51
4s4 - 4s5	0,2	231,13	231,33	2,31	113,25	249,60	115,57	184,90
4s5 - 4s6	0,16	27,14	27,30	0,17	11,31	29,36	11,49	20,63
4s6 - 4s7	0,25	164,85	165,10	2,58	97,16	200,10	99,73	140,12
4s7 - Ap5	0,2	86,57	86,77	0,87	42,42	104,95	43,29	69,26
3s1 - 3s2	0,11	54,73	54,84	0,17	18,23	39,26	18,40	38,86
3s2 - 3s3	0,11	100	100,11	0,30	33,32	78,81	33,62	71,00
3s3 - 3s4	0,11	24,08	24,19	0,07	8,02	19,03	8,10	17,10
3s4 - 3s5	0,225	236,58	236,81	2,99	127,42	224,79	130,41	195,18
3s5 - 3s6	0,25	194,43	194,68	3,04	114,59	215,28	117,63	165,27
3s6 - Ap8	0,28	56,87	57,15	1,11	37,15	62,95	38,26	50,05
2s1 - 2s2	0,2	52,29	52,49	0,52	25,62	35,67	26,15	41,83

No Saluran	Diameter m	Panjang m	Vol. galian total m ³	Vol. pipa m ³	Vol. urugan pasir m ³	Vol. tanah urug m ³	Vol. Sisa tanah galian m ³	Perkerasan Jalan m ²
2s2 - 2s3	0,2	48,08	48,28	0,48	23,56	34,65	24,04	38,46
2s3 - 2s4	0,5	42,77	43,27	2,67	52,07	19,07	54,75	47,05
2s4 - 2s5	0,2	136,43	136,63	1,36	66,85	117,82	68,22	109,14
2s5 - 2s6	0,225	39,38	39,61	0,50	21,21	35,00	21,71	32,49
2s6 - Ap10	0,11	4,67	4,78	0,01	1,56	4,60	1,57	3,32
1s1 - 1s2	0,11	352,15	352,26	1,07	117,33	336,55	118,39	250,03
1s2 - 1s3	0,2	128,16	128,36	1,28	62,80	122,49	64,08	102,53
1s3 - 1s4	0,225	122,58	122,81	1,55	66,02	128,85	67,57	101,13
1s4 - 1s5	0,25	151,58	151,83	2,37	89,34	178,07	91,71	128,84
1s5 - 1s6	0,25	89,04	89,29	1,39	52,48	111,37	53,87	75,68
1s6 - 1s7	0,28	85,72	86,00	1,68	55,99	113,50	57,67	75,43
1s7 - 1s8	0,28	146,19	146,47	2,87	95,49	212,32	98,36	128,65
1s8 - 1s9	0,28	81,83	82,11	1,60	53,45	124,79	55,06	72,01
1s9 - 1s10	0,25	42,74	42,99	0,67	25,19	64,99	25,86	36,33
1s10 - 1s11	0,28	74,76	75,04	1,47	48,83	118,95	50,30	65,79
1s11 - Bp1	0,28	53,94	54,22	1,06	35,23	88,46	36,29	47,47
Primer								
Ap5 - Ap6	0,28	235,17	235,45	4,61	153,61	469,85	158,22	206,95
Ap6 - Ap7	0,28	268,31	268,59	5,26	175,26	599,44	180,52	236,11
Ap7 - Ap8	0,225	77,21	77,44	0,98	41,58	168,04	42,56	63,70
Ap8 - Ap9	0,355	381,25	381,61	12,01	315,12	1079,92	327,13	364,09
Ap9 - Ap10	0,28	97,44	97,72	1,91	63,65	266,06	65,56	85,75
Ap10 - iP	0,4	14,76	15,16	0,59	13,87	47,97	14,46	14,76
Bp1 - iP	0,28	245,43	245,71	4,81	160,31	465,70	165,13	215,98
iP - IPAL	0,5	62,69	63,19	3,92	76,33	147,05	80,24	68,96
Total			38433,18		14321,30	33608,70	14513,60	28091,28

LAMPIRAN 3 COMPOUND INTEREST FACTOR TABLES

APPENDIX C. COMPOUND INTEREST TABLES 607

4 1/2 %		Compound Interest Factors										4 1/2 %	
Single Payment				Uniform Payment Series				Arithmetic Gradient					
	Compound Amount	Present Worth		Sinking Fund	Capital Recovery	Compound Amount	Present Worth	Gradient Uniform Series	Gradient Present Worth				
	Factor Find F Given P	Factor Find P Given F		Factor Find A Given F	Factor Find F Given A	Factor Find F Given A	Factor Find P Given A	Factor Find A Given G	Factor Find P Given G				
n	F/P	P/F	A/F	A/P	F/A	F/A	P/A	A/G	P/G	n			
1	1.045	.9569	1.0000	1.0450	1.000	0.957	0	0	0	1			
2	1.092	.9157	.4890	.5340	2.045	1.873	0.489	0.916		2			
3	1.141	.8763	.3188	.3638	3.137	2.749	0.971	2.668		3			
4	1.193	.8386	.2337	.2787	4.278	3.588	1.445	5.184		4			
5	1.246	.8025	.1828	.2278	5.471	4.390	1.912	8.394		5			
6	1.302	.7679	.1489	.1939	6.717	5.158	2.372	12.233		6			
7	1.361	.7348	.1247	.1697	8.019	5.893	2.824	16.642		7			
8	1.422	.7032	.1066	.1516	9.380	6.596	3.269	21.564		8			
9	1.486	.6729	.0926	.1376	10.802	7.269	3.707	26.948		9			
10	1.553	.6439	.0814	.1264	12.288	7.913	4.138	32.743		10			
11	1.623	.6162	.0722	.1172	13.841	8.529	4.562	38.905		11			
12	1.696	.5897	.0647	.1097	15.464	9.119	4.978	45.391		12			
13	1.772	.5643	.0583	.1033	17.160	9.683	5.387	52.163		13			
14	1.852	.5400	.0528	.0978	18.932	10.223	5.789	59.182		14			
15	1.935	.5167	.0481	.0931	20.784	10.740	6.184	66.416		15			
16	2.022	.4945	.0440	.0890	22.719	11.234	6.572	73.833		16			
17	2.113	.4732	.0404	.0854	24.742	11.707	6.953	81.404		17			
18	2.208	.4528	.0372	.0822	26.855	12.160	7.327	89.102		18			
19	2.308	.4333	.0344	.0794	29.064	12.593	7.695	96.901		19			
20	2.412	.4146	.0319	.0769	31.371	13.008	8.055	104.779		20			
21	2.520	.3968	.0296	.0746	33.783	13.405	8.409	112.715		21			
22	2.634	.3797	.0275	.0725	36.303	13.784	8.755	120.689		22			
23	2.752	.3634	.0257	.0707	38.937	14.148	9.096	128.682		23			
24	2.876	.3477	.0240	.0690	41.689	14.495	9.429	136.680		24			
25	3.005	.3327	.0224	.0674	44.565	14.828	9.756	144.665		25			
26	3.141	.3184	.0210	.0660	47.571	15.147	10.077	152.625		26			
27	3.282	.3047	.0197	.0647	50.711	15.451	10.391	160.547		27			
28	3.430	.2916	.0185	.0635	53.993	15.743	10.698	168.420		28			
29	3.584	.2790	.0174	.0624	57.423	16.022	10.999	176.232		29			
30	3.745	.2670	.0164	.0614	61.007	16.289	11.295	183.975		30			
31	3.914	.2555	.0154	.0604	64.752	16.544	11.583	191.640		31			
32	4.090	.2445	.0146	.0596	68.666	16.789	11.866	199.220		32			
33	4.274	.2340	.0137	.0587	72.756	17.023	12.143	206.707		33			
34	4.466	.2239	.0130	.0580	77.030	17.247	12.414	214.095		34			
35	4.667	.2143	.0123	.0573	81.497	17.461	12.679	221.380		35			
40	5.816	.1719	.00934	.0543	107.030	18.402	13.917	256.098		40			
45	7.248	.1380	.00720	.0522	138.850	19.156	15.020	287.732		45			
50	9.033	.1107	.00560	.0506	178.503	19.762	15.998	316.145		50			
55	11.256	.0888	.00439	.0494	227.918	20.248	16.860	341.375		55			
60	14.027	.0713	.00345	.0485	289.497	20.638	17.617	363.571		60			
65	17.481	.0572	.00273	.0477	366.237	20.951	18.278	382.946		65			
70	21.784	.0459	.00217	.0472	461.869	21.202	18.854	399.750		70			
75	27.147	.0368	.00172	.0467	581.043	21.404	19.354	414.242		75			
80	33.830	.0296	.00137	.0464	729.556	21.565	19.785	426.680		80			
85	42.158	.0237	.00109	.0461	914.630	21.695	20.157	437.309		85			
90	52.537	.0190	.00087	.0459	1145.3	21.799	20.476	446.359		90			
95	65.471	.0153	.00070	.0457	1432.7	21.883	20.749	454.039		95			
100	81.588	.0123	.00056	.0456	1790.9	21.950	20.981	460.537		100			

Sumber : Oxford University Press

LAMPIRAN 4
TABEL PERHITUNGAN NPV

Lampiran 4. 1 Spreadsheet Perhitungan Nilai NPV Awal (Tahun 1-10)

Cashflow	Tahun									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INFLOW										
TOTAL PENERIMAAN	Rp0	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000
OUTFLOW										
Biaya Investasi	Rp33.441.000.000	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0
Biaya Elektrikal	Rp0	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113
Biaya Mekanikal	Rp0	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000
Biaya Perjalanan	Rp0	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000
Gaji Operator	Rp0	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000
Biaya Depresiasi	Rp0	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000
TOTAL PENGELUARAN	Rp33.441.000.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000
Benefit	-Rp33.441.000.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000
Discount Factor (4,5%)	0,9569	0,9157	0,8763	0,8386	0,8025	0,7679	0,7348	0,7032	0,6729	0,6439
PV	-Rp33.441.000.000	Rp1.274.013.410	Rp1.219.196.190	Rp1.166.744.180	Rp1.116.518.250	Rp1.068.379.270	Rp1.022.327.240	Rp978.362.160	Rp936.205.770	Rp895.858.070
PV Positif (1-20 tahun)	Rp16.766.695.430									
PV Negatif (1-20 tahun)	-Rp33.441.000.000									
NPV	-Rp16.674.304.570									

Lampiran 4. 2 Spreadsheet Perhitungan Nilai NPV Awal (Tahun 11-20)

Cashflow	Tahun									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INFLOW										
TOTAL PENERIMAAN	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000	Rp1.968.000.000
OUTFLOW										
Biaya Investasi	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0
Biaya Elektrikal	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113
Biaya Mekanikal	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000
Biaya Perjalanan	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000
Gaji Operator	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000
Biaya Depresiasi	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000
TOTAL PENGELUARAN	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000
Benefit	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000	Rp1.391.300.000
Discount Factor (4,5%)	0,6162	0,5897	0,5643	0,54	0,5167	0,4945	0,4732	0,4528	0,4333	0,4146
PV	Rp857.319.060	Rp820.449.610	Rp785.110.590	Rp751.302.000	Rp718.884.710	Rp687.997.850	Rp658.363.160	Rp629.980.640	Rp602.850.290	Rp576.832.980

Lampiran 4. 3 Spreadsheet Perhitungan Nilai NPV Iterasi (Tahun 1 – 10)

Cashflow	Tahun									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INFLOW										
TOTAL PENERIMAAN	Rp0	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000
OUTFLOW										
Biaya Investasi	Rp33.441.000.000	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0
Biaya Elektrikal	Rp0	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113
Biaya Mekanikal	Rp0	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000
Biaya Perjalanan	Rp0	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000
Gaji Operator	Rp0	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000
Biaya Depresiasi	Rp0	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000
TOTAL PENGELUARAN	Rp33.441.000.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000	Rp576.700.000
Benefit	- Rp33.441.000.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000	Rp47.300.000
Discount Factor (4,5%)	0,9569	0,9157	0,8763	0,8386	0,8025	0,7679	0,7348	0,7032	0,6729	0,6439
PV	Rp0	Rp43.312.610	Rp41.448.990	Rp39.665.780	Rp37.958.250	Rp36.321.670	Rp34.756.040	Rp33.261.360	Rp31.828.170	Rp30.456.470
PV Positif	Rp570.017.030									
PV Negatif	Rp0									
NPV	Rp570.017.030									

Lampiran 4. 4 Spreadsheet Perhitungan Nilai NPV Iterasi (Tahun 11– 20)

Cashflow	Tahun									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INFLOW										
TOTAL PENERIMAAN	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000	Rp624.000.000
OUTFLOW										
Biaya Investasi	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0
Biaya Elektrikal	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113	Rp257.977.113
Biaya Mekanikal	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000	Rp5.000.000
Biaya Perjalanan	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000	Rp105.777.000
Gaji Operator	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000	Rp48.000.000
Biaya Depresiasi	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000	Rp35.000.000
TOTAL PENGELUARAN	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113	Rp451.754.113
Benefit	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887	Rp172.245.887
Discount Factor (4,5%)	0,6162	0,5897	0,5643	0,54	0,5167	0,4945	0,4732	0,4528	0,4333	0,4146
PV	Rp106.137.916	Rp101.573.400	Rp97.198.354	Rp93.012.779	Rp88.999.450	Rp85.175.591	Rp81.506.754	Rp77.992.938	Rp74.634.143	Rp71.413.145

LAMPIRAN 5

HASIL ANALISIS LABORATORIUM AIR LIMBAH



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA LIMBAH CAIR

Dikirim Oleh : Sdr. Fadil Muhammad
Dikirim Tanggal : 10 April 2018
Sampel Dari : Air Limbah Domestik
No. Laboratorium : 100-0043/04/A/KL/2018

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah Domestik*)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	6 – 9	8,30	pHmeter
2	TSS	mg/L	30	152,00	Gravimetri
3	COD	mg/L O ₂	100	386,00	Reflux/Tetrimetri
4	BOD	mg/L O ₂	30	228,00	Winkler
5	Minyak & Lemak	mg/L	5	18,00	Gravimetri
6	Amoniak	mg/L NH ₃ -N	10	44,75	Spektrofotometri
7	Total Koliform	MPN/100 mL	3.000	17 x 10 ⁶	Fermentasi Multi Tabung
8	Deterjen	mg/L LAS	(-)	32,57	Spektrofotometri

Surabaya, 25 April 2018
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

Catatan :
*) PERMENLHK,
No. : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami.
(-) = tidak disyaratkan



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX, (031)5928387

DATA ANALISA LIMBAH CAIR

Dikirim Oleh : Sdr. Fadil Muhammad
Dikirim Tanggal : 13 April 2018
Sampel Dari : Air Limbah Domestik
No. Laboratorium : 100-0060/04/A/KL/2018

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah Domestik*)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	6 - 9	7,30	pHmeter
2	TSS	mg/L	30	140,00	Gravimetri
3	COD	mg/L O ₂	100	326,00	Reflux/Tetrimetri
4	BOD	mg/L O ₂	30	192,00	Winkler
5	Minyak & Lemak	mg/L	5	16,00	Gravimetri
6	Amoniak	mg/L NH ₃ -N	10	193,61	Spektrofotometri
7	Total Koliform	MPN/100 mL	3.000	16 x 10 ⁵	Fermentasi Multi Tabung
8	Deterjen	mg/L LAS	(-)	6,53	Spektrofotometri

Surabaya, 25 April 2018
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

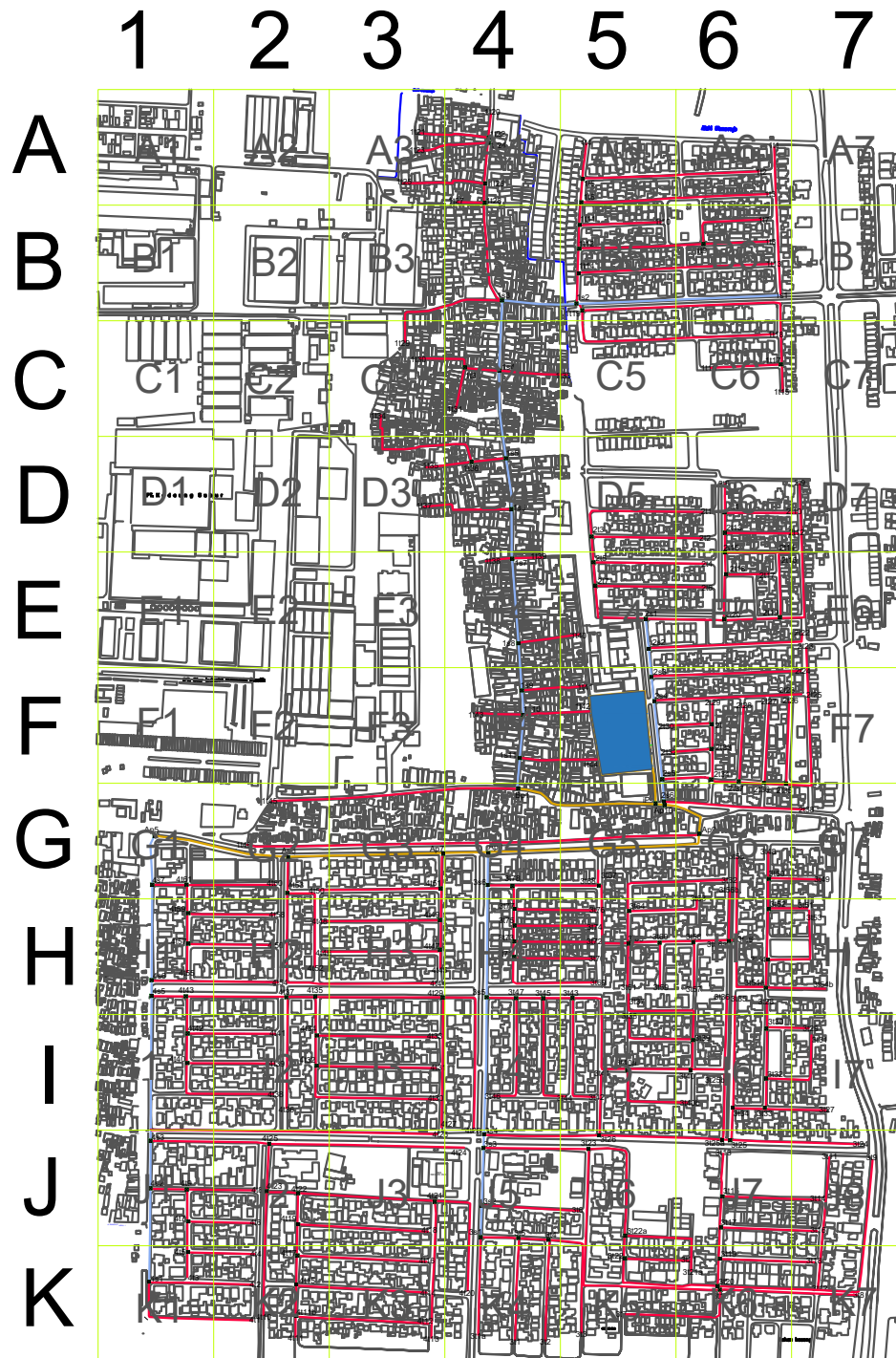
Catatan :

*) PERMENLHK,

No. : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang
diterima laboratorium kami.

(-) = tidak disyaratkan



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Peta Wilayah Perencanaan

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : IPAL

SKALA

1 : 12500

NO. GAMBAR

SPAL01
199



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 1

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

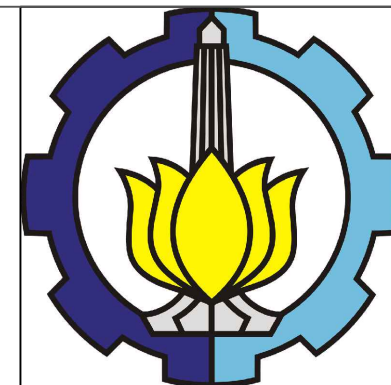
SKALA

1 : 7500

NO. GAMBAR

SPAL02
200





DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 1 - 1

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

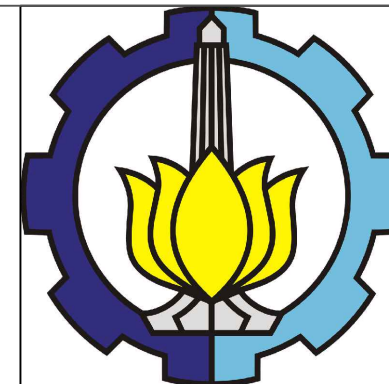
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL03
 201



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 1 - 2

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

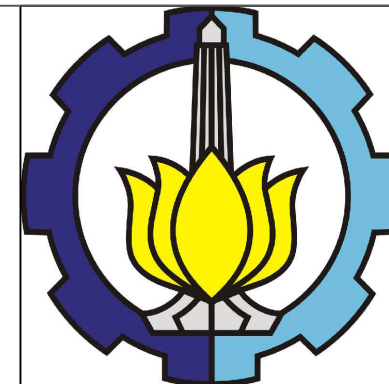
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- ⊠ : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL04
 202



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 1 - 3

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

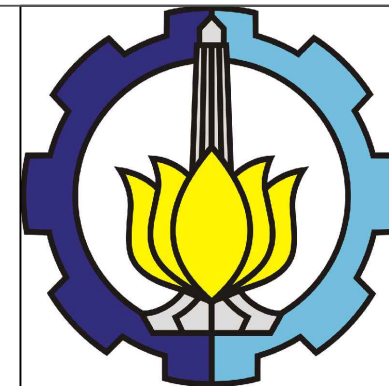
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL05
 203



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 1 - 4

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

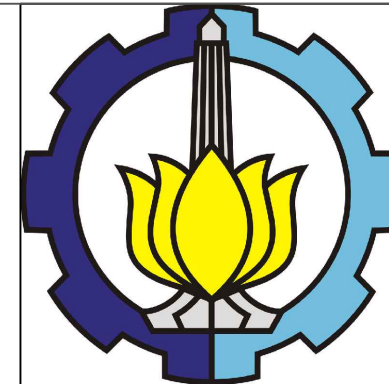
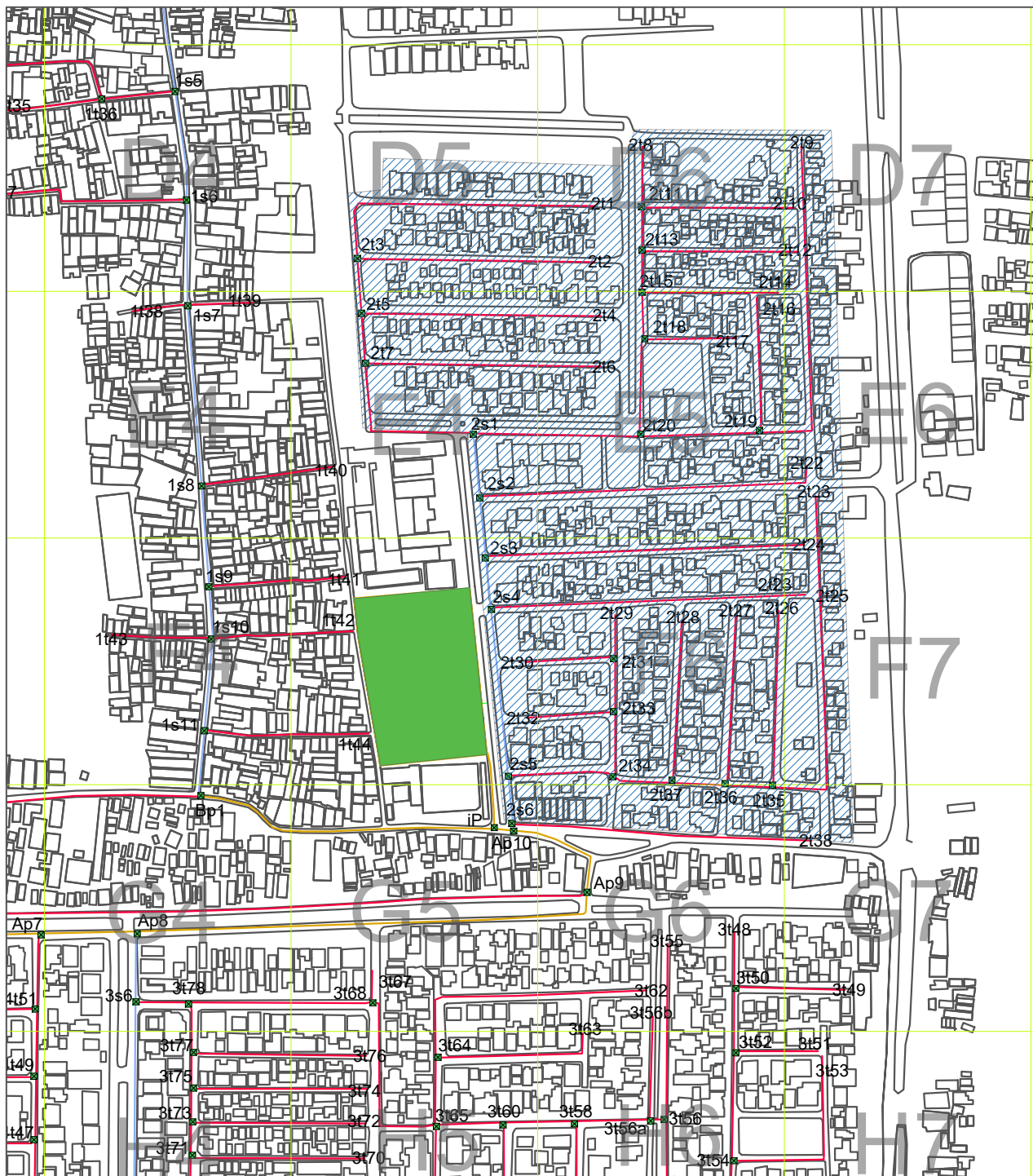
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- ⊗ : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL06
204



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 2

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

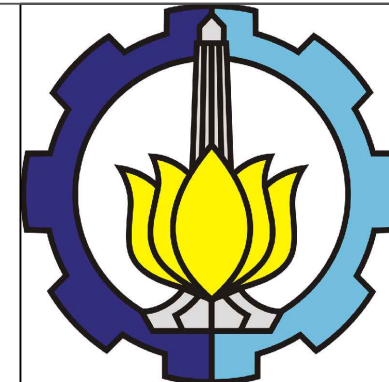
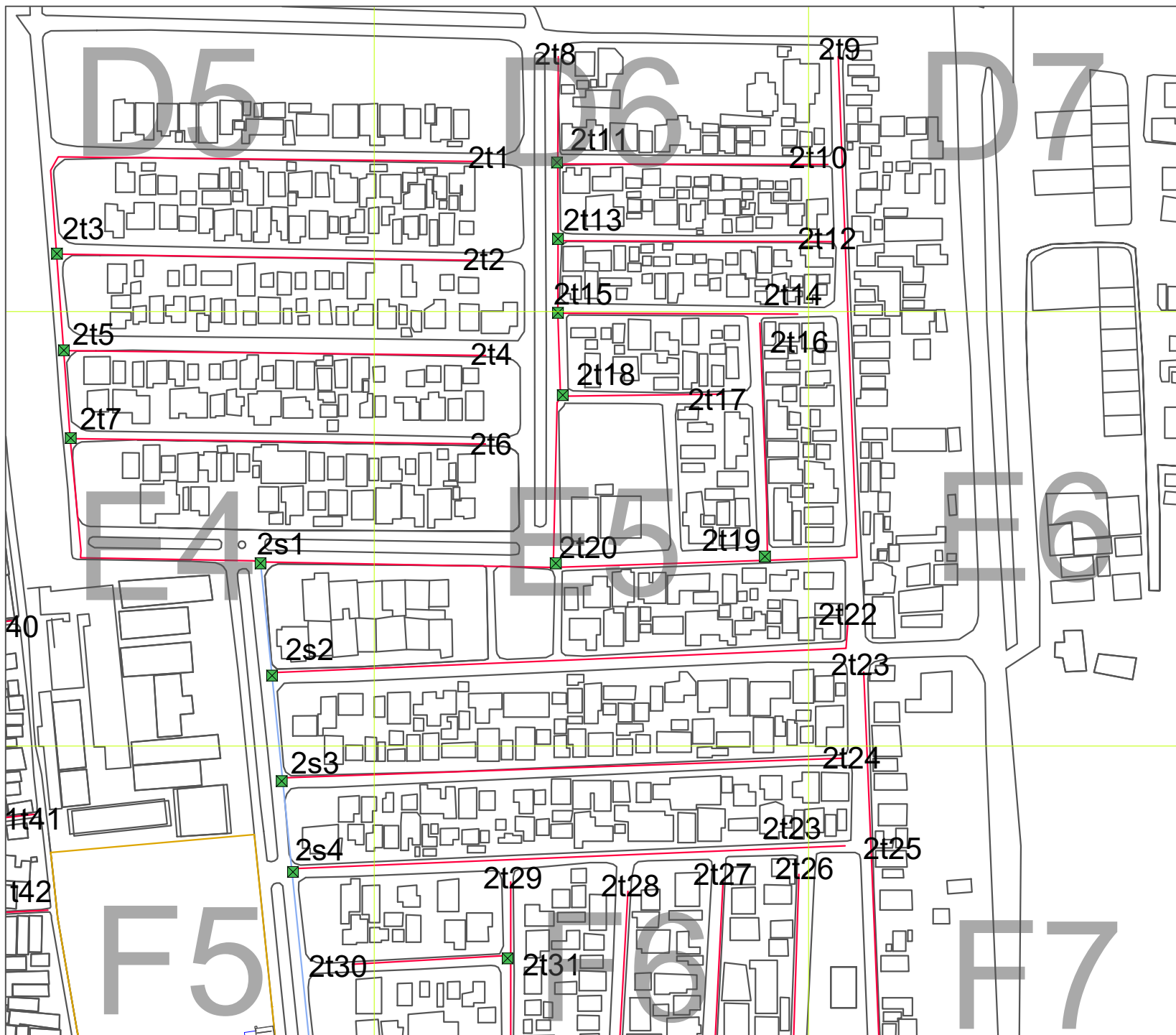
 : Pipa Tersier
 : Pipa Sekunder
 : Pipa Primer
 : IPAL
 : Blok 2

SKALA

1 : 5000

NO. GAMBAR

SPAL07
205



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 2 - 1

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

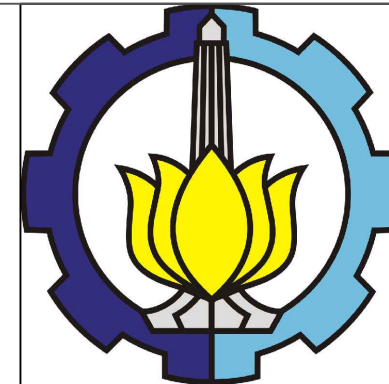
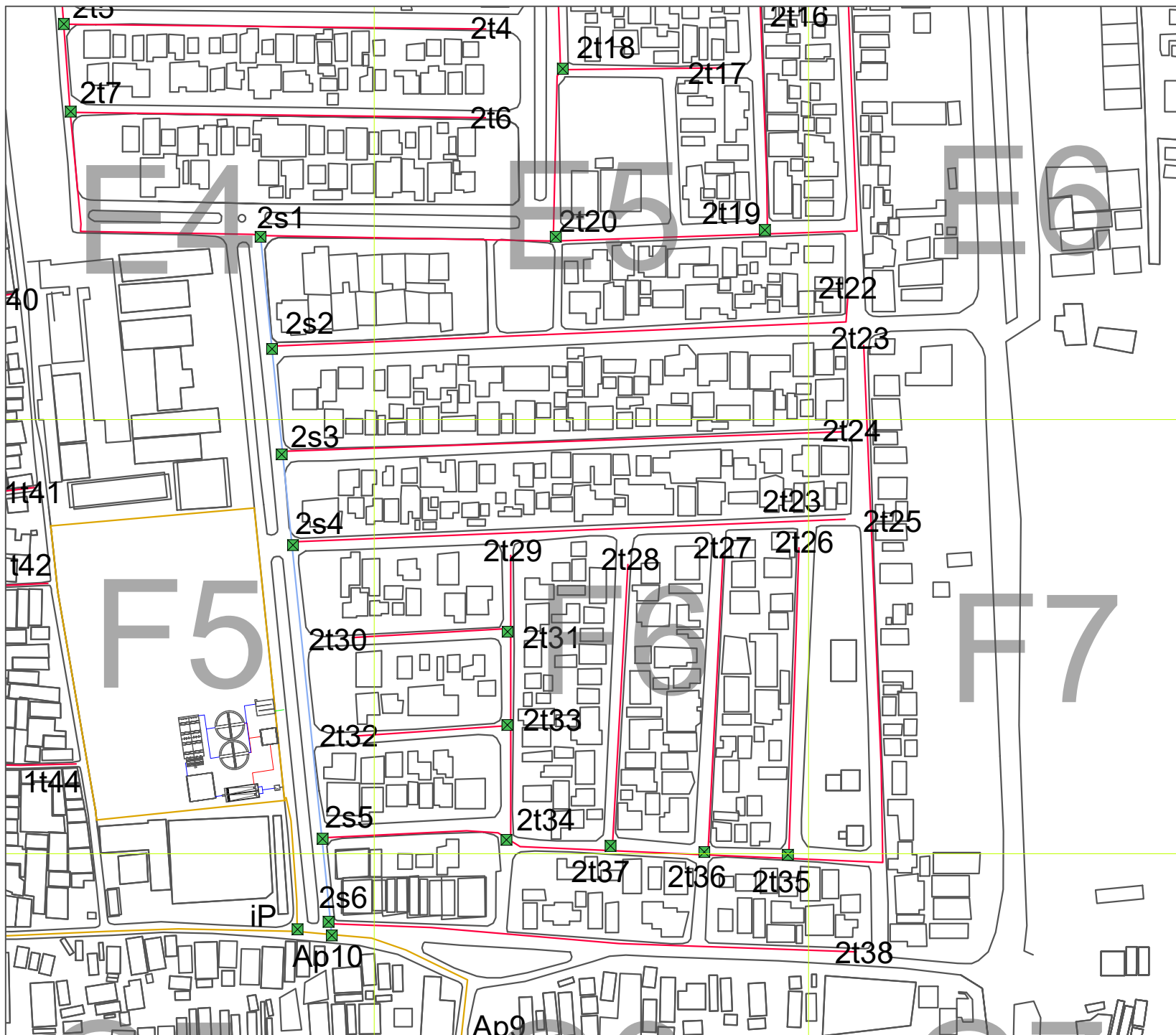
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL08
206



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 2 - 2

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

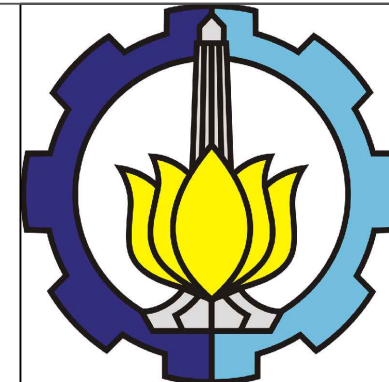
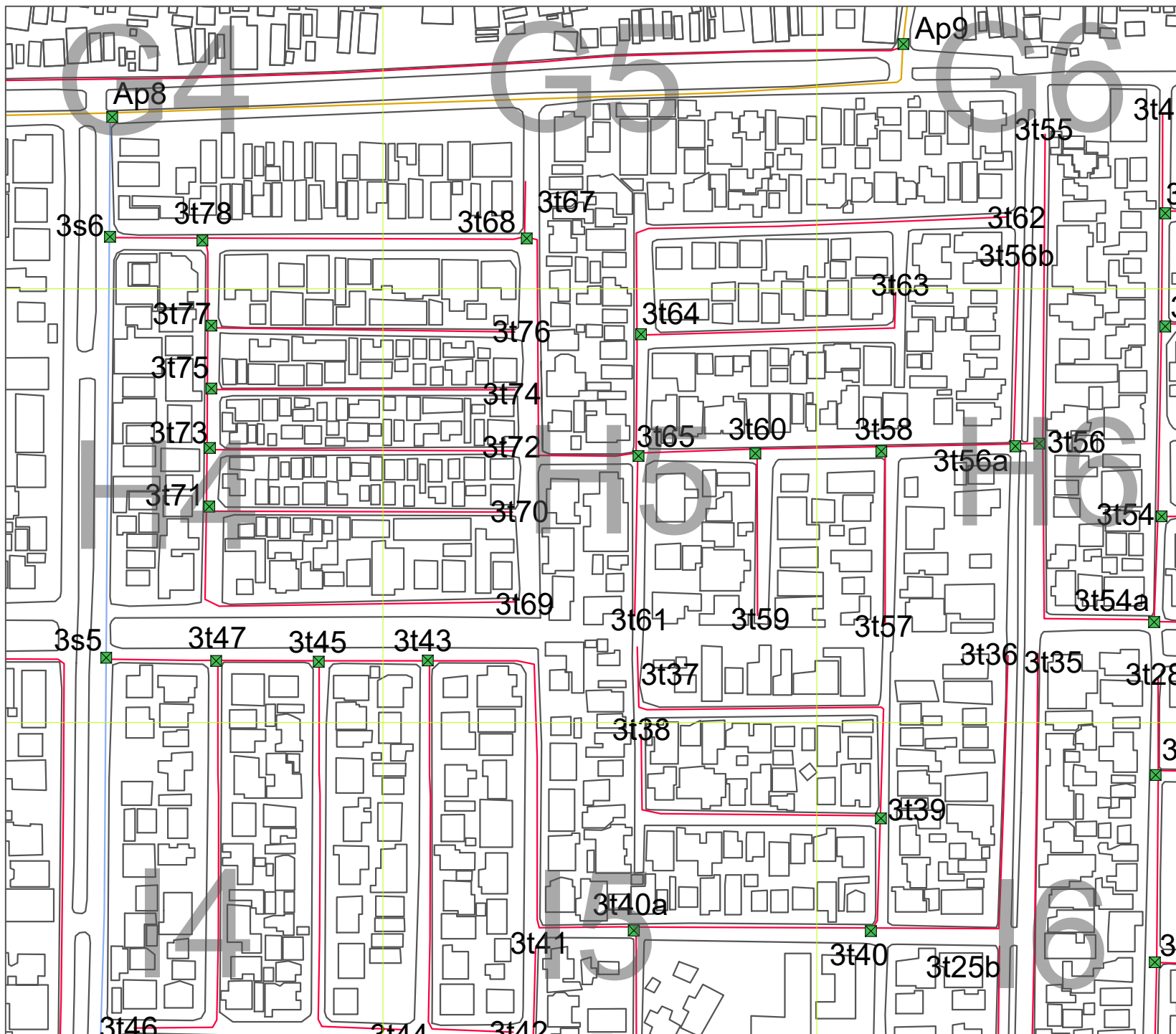
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL09
207



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 3 - 1

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

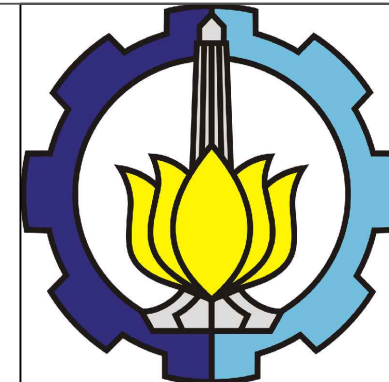
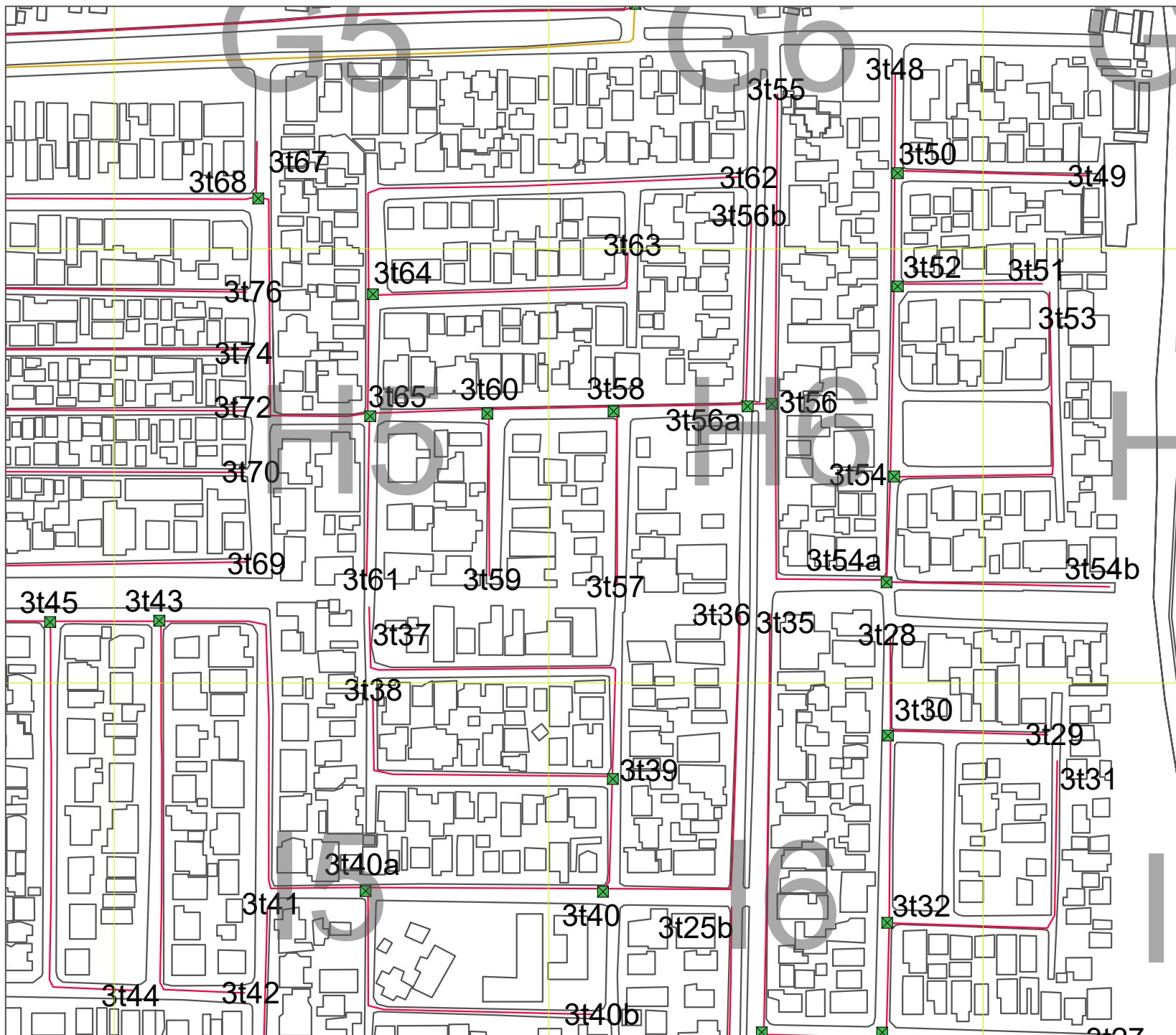
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL10
209



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 3 - 2

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

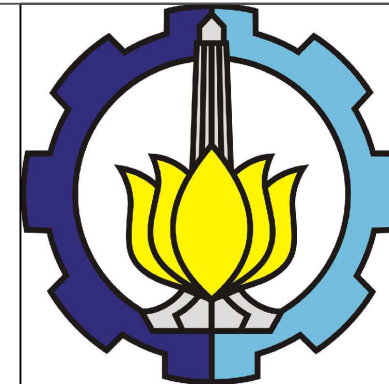
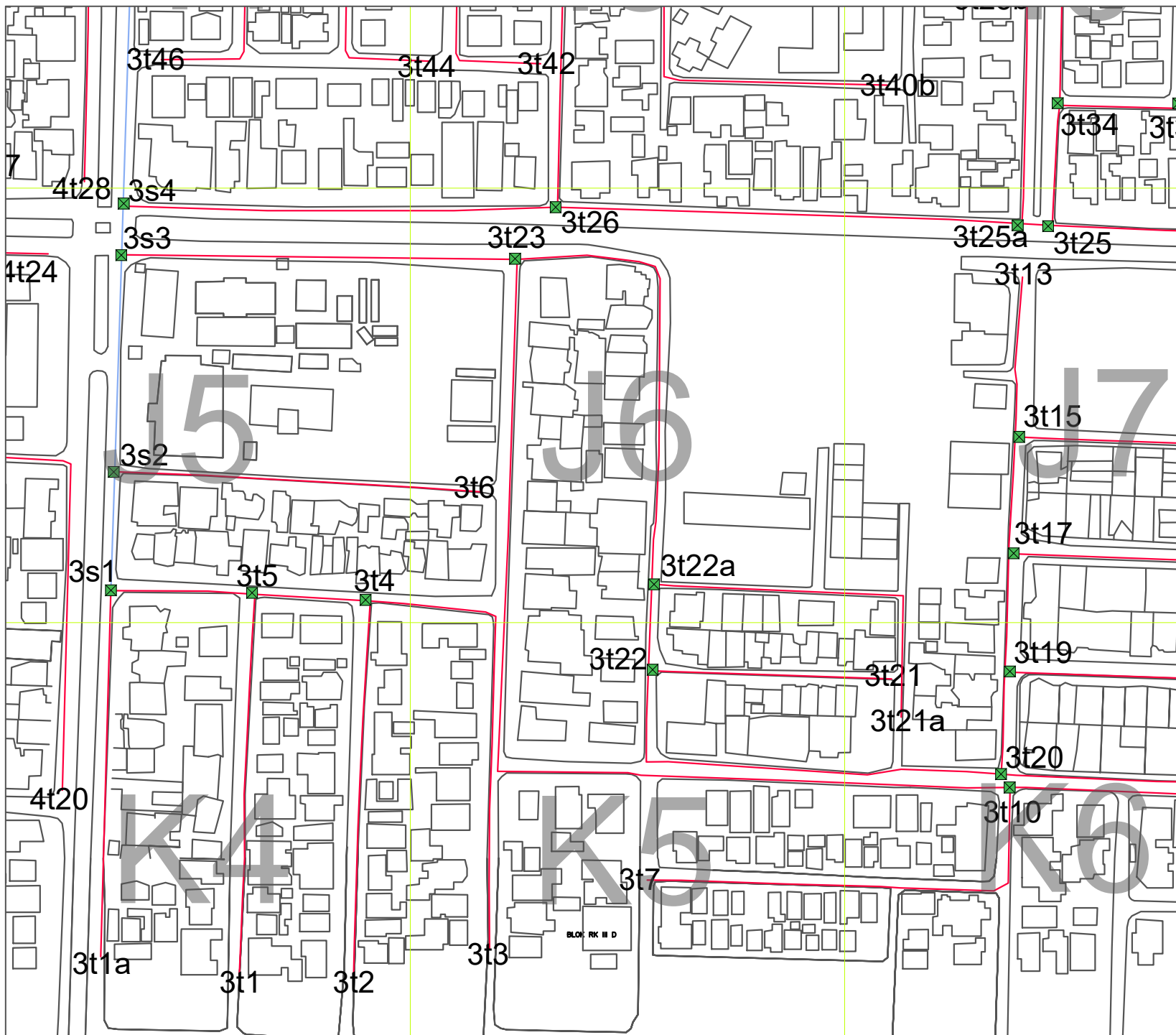
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL11
210



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 3 - 3

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

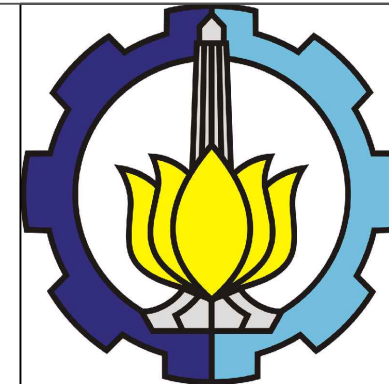
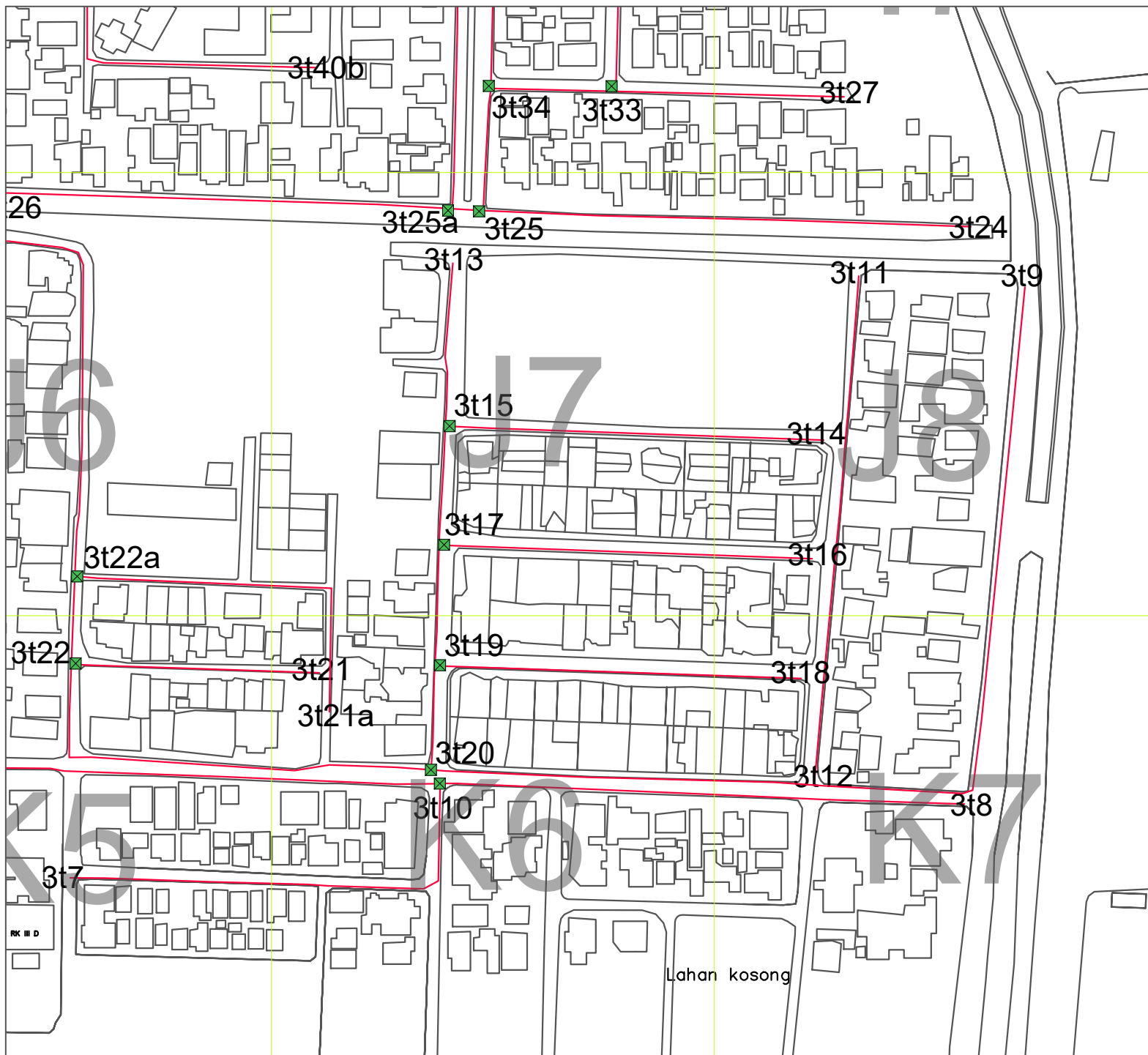
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL12
211



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 3 - 4

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

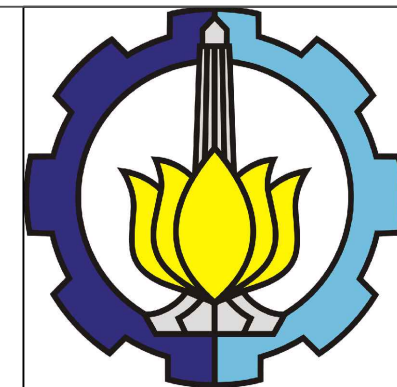
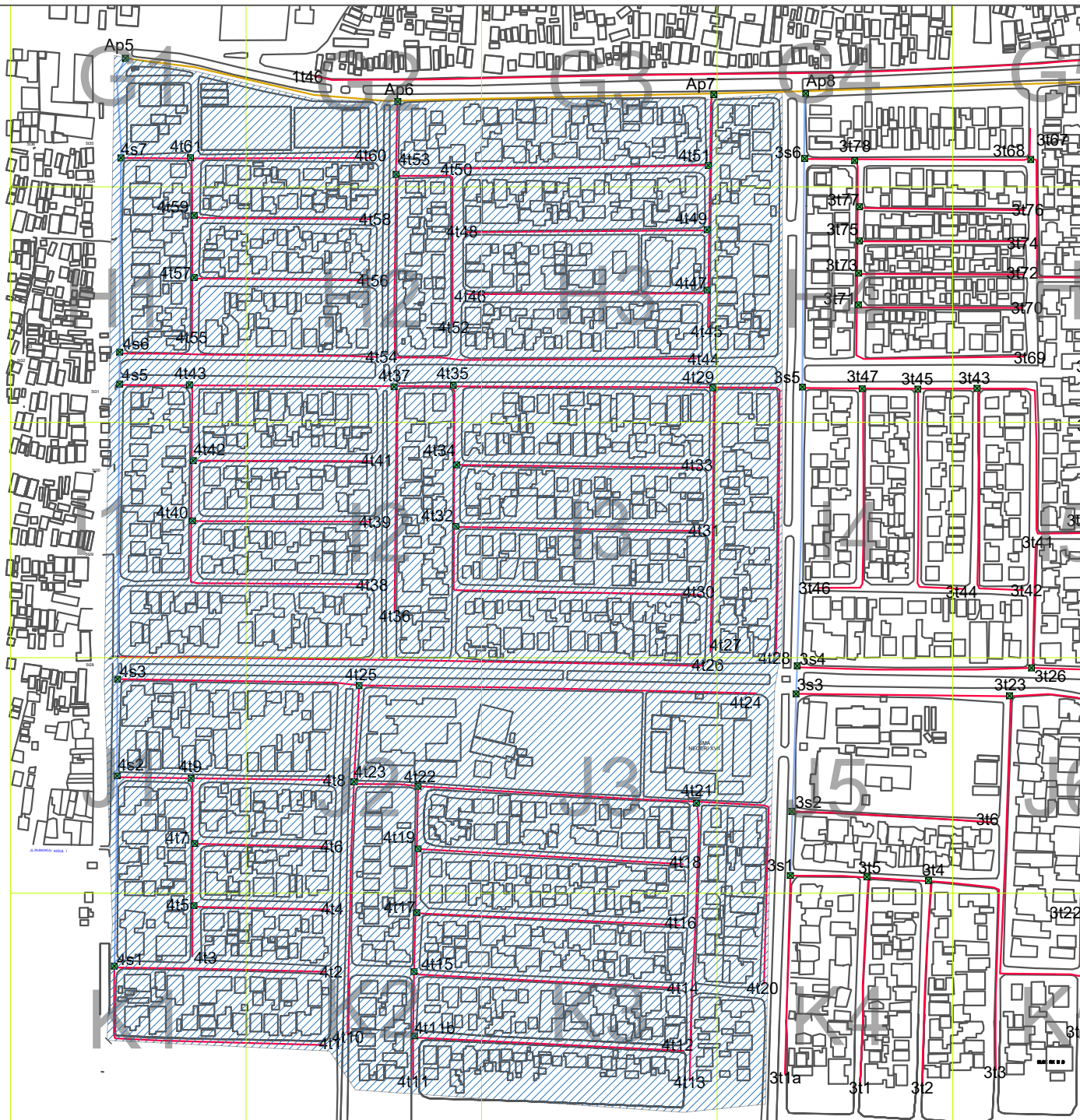
SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL13
 212

G
H
I
J
K



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 4

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

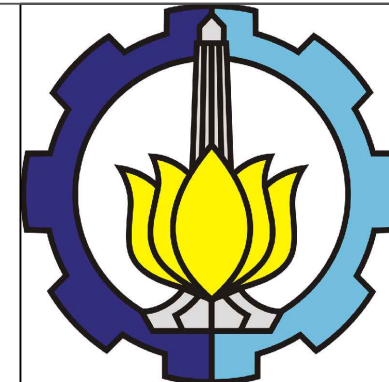
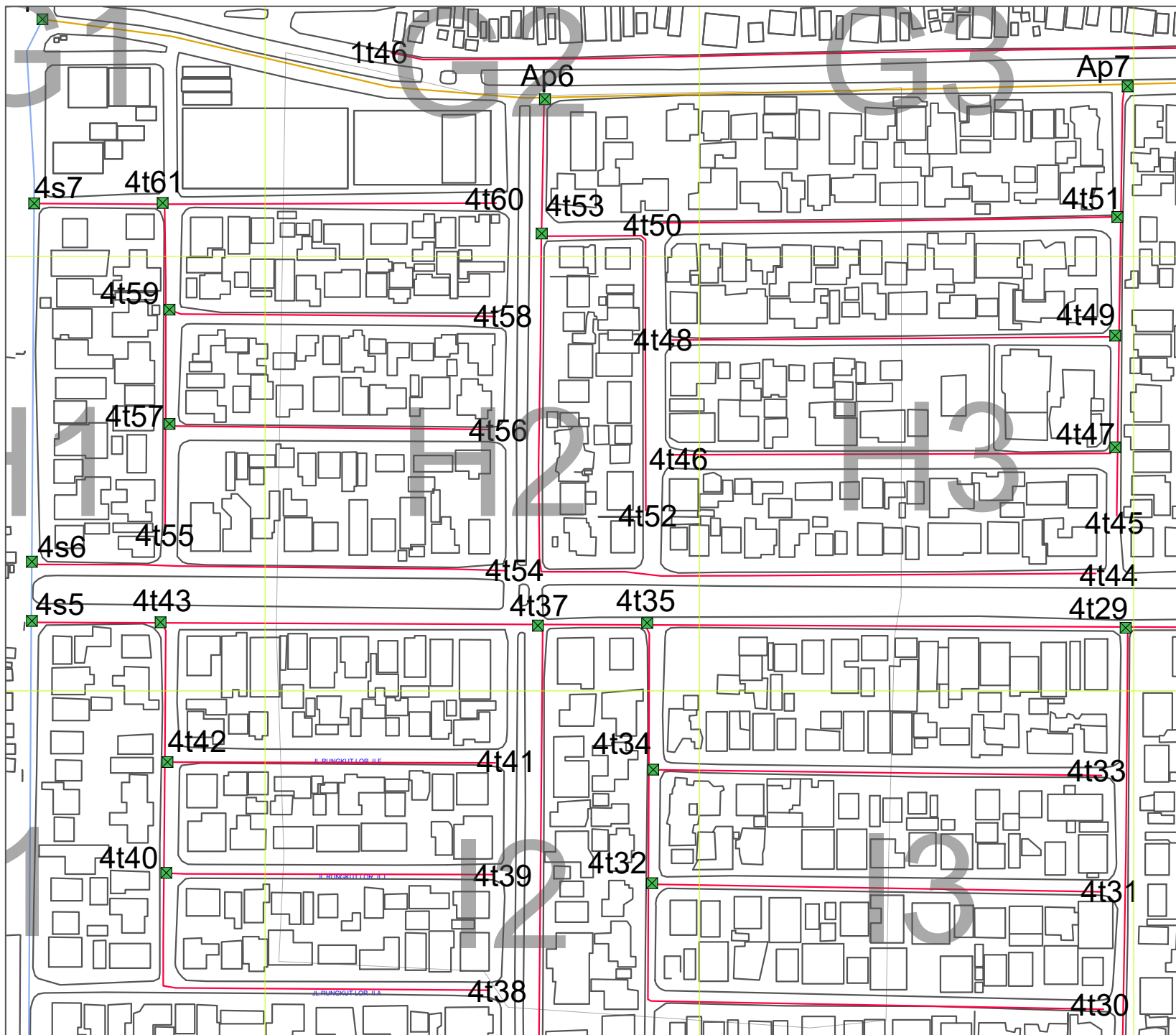
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- ▨ : Blok 4

SKALA

1 : 5000

NO. GAMBAR

SPAL14
213



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 4 - 1

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL15
214



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 4 - 2

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

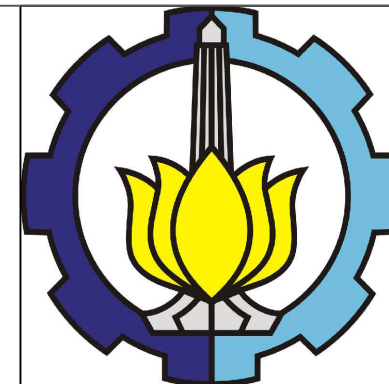
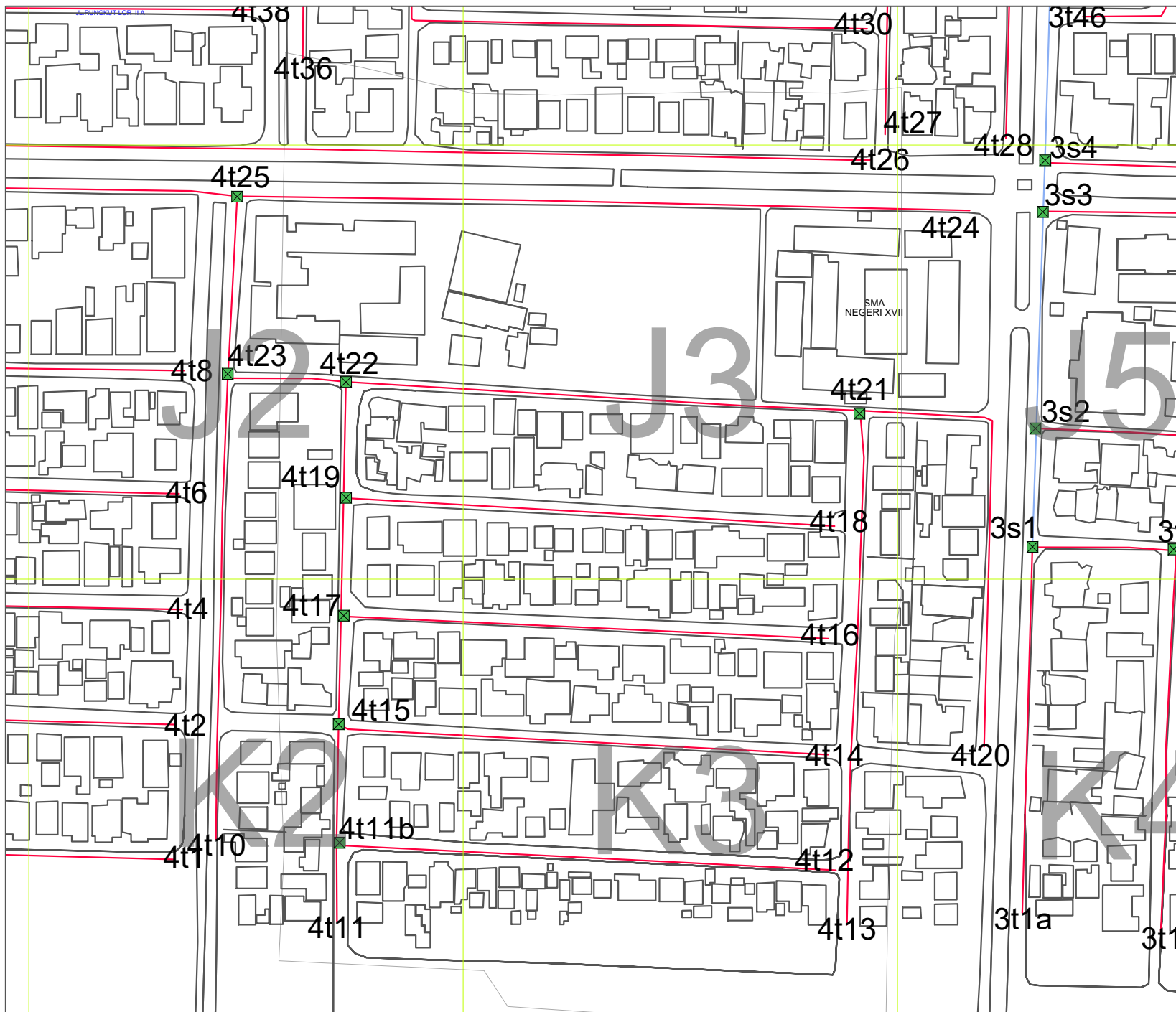
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

1 : 2500

NO. GAMBAR

SPAL16
215



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Blok 4 - 3

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

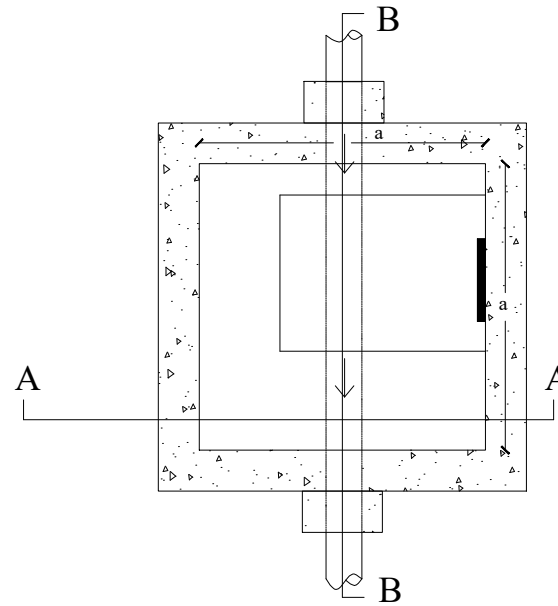
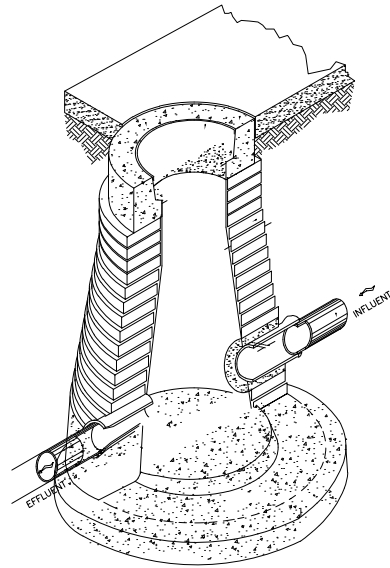
- : Pipa Tersier
- : Pipa Sekunder
- : Pipa Primer
- : Manhole Pertigaan

SKALA

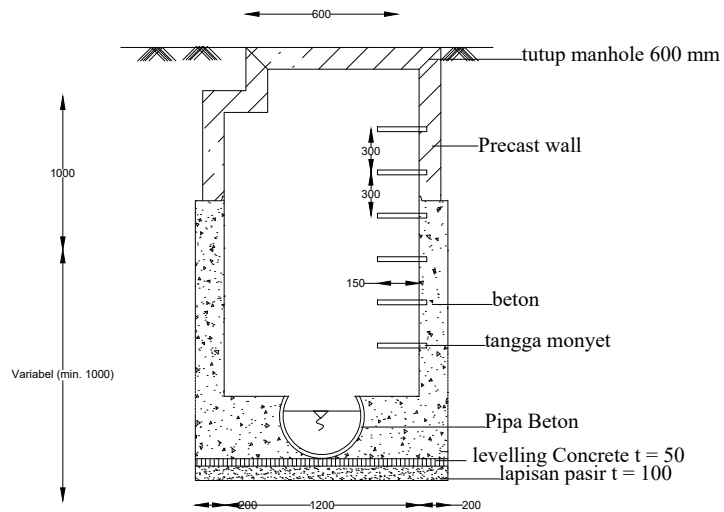
1 : 2500

NO. GAMBAR

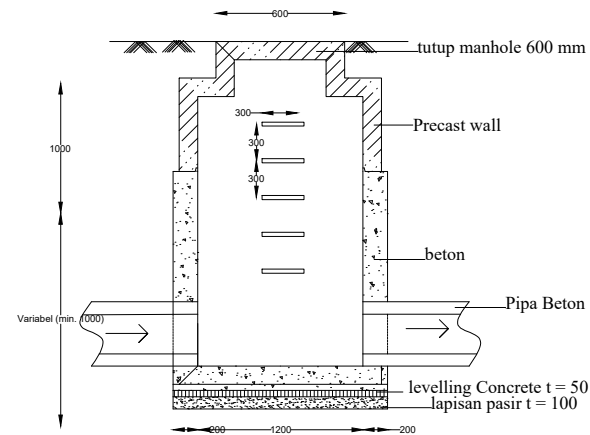
SPAL17
216



Denah Manhole Lurus



Potongan A - A



Potongan B - B



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Tipikal Manhole Lurus

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

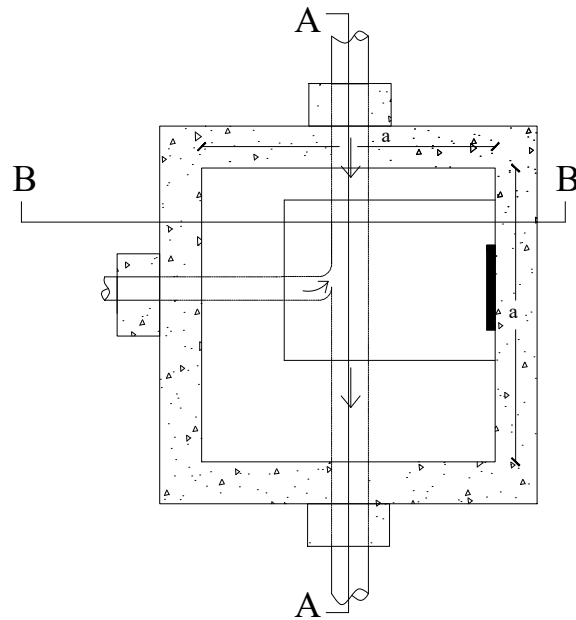
LEGENDA

SKALA

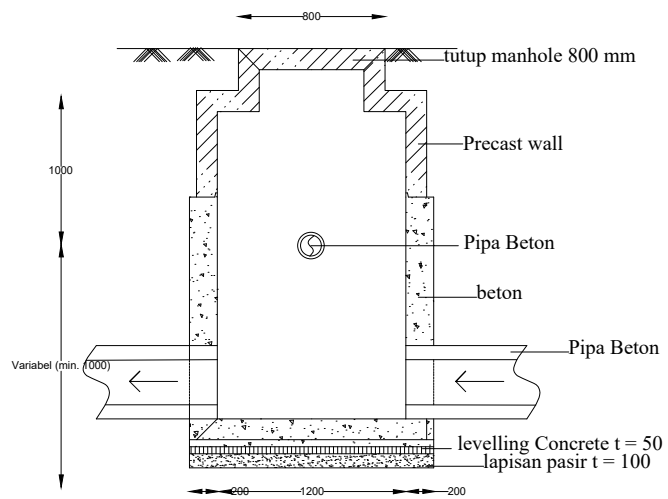
Tanpa Skala

NO. GAMBAR

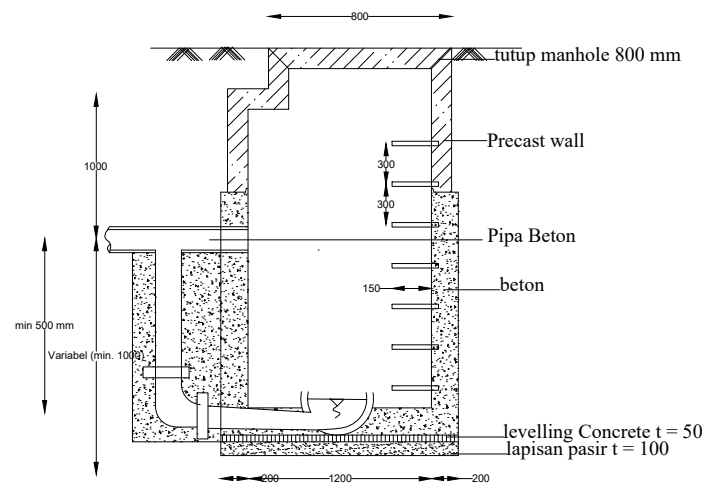
SPAL18
217



Denah Drop Manhole Pertigaan



Potongan A - A



Potongan B - B



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Tipikal Drop Manhole Pertigaan

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

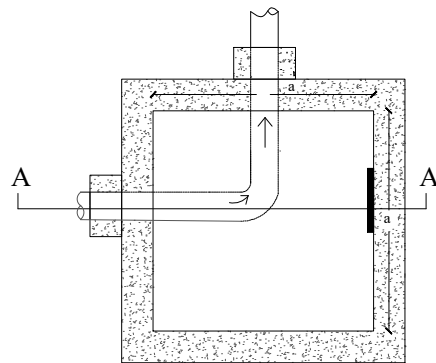
LEGENDA

SKALA

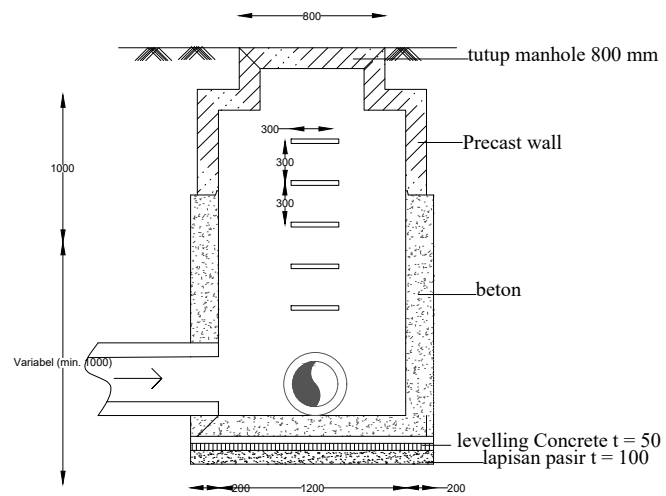
Tanpa Skala

NO. GAMBAR

SPAL19
218



Denah Manhole Belokan



Potongan A - A



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Tipikal Drop Manhole Belokan

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

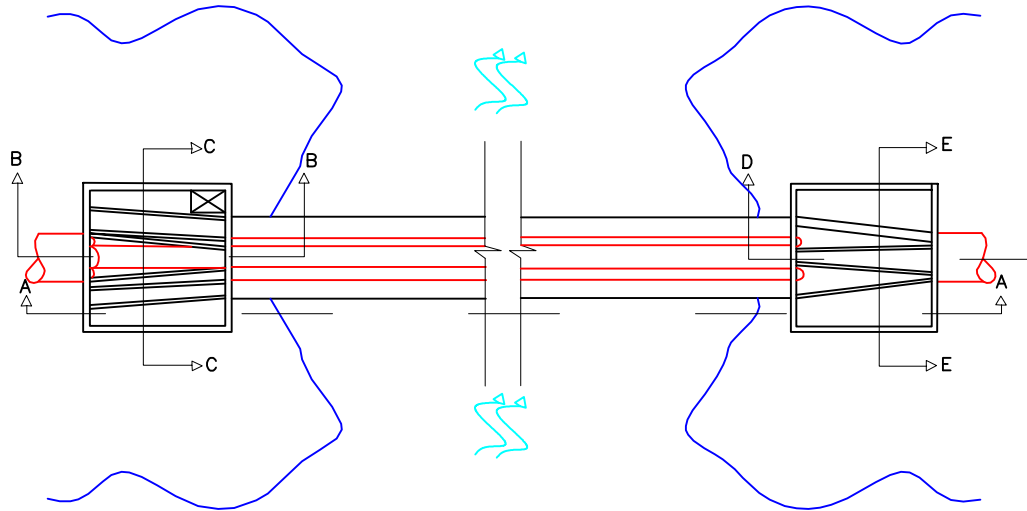
SKALA

Tanpa Skala

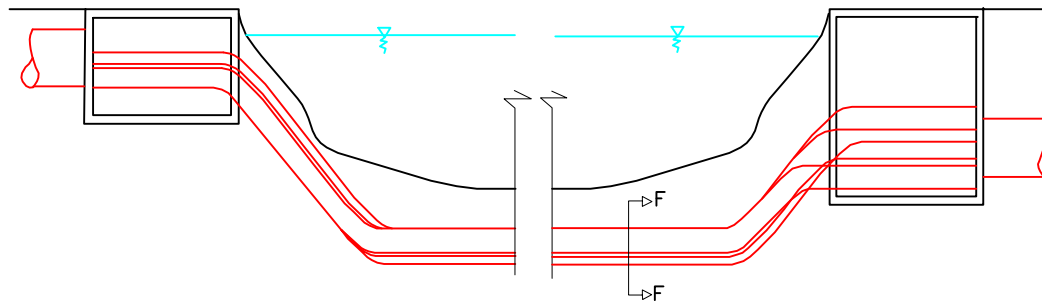
NO. GAMBAR

SPAL20
219

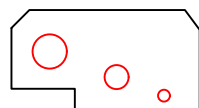
Sungai



Denah Syphon



POTONGAN A - A



POTONGAN F - F



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Tipikal Syphon

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 0321144000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

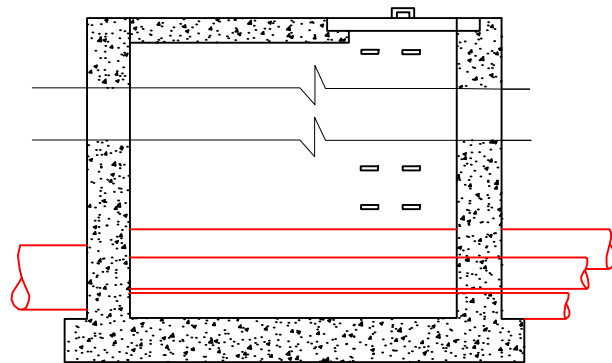
LEGENDA

SKALA

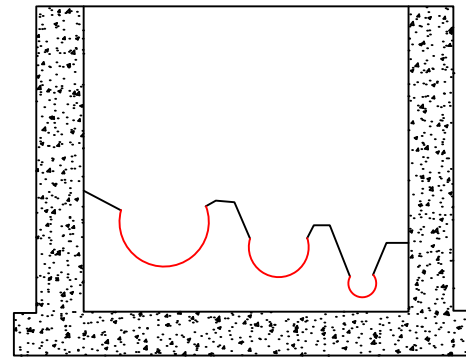
Tanpa Skala

NO. GAMBAR

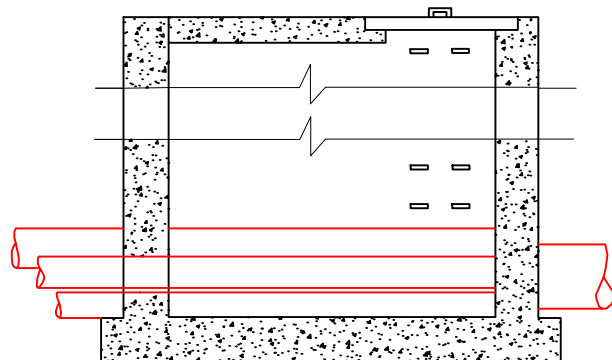
SPAL21
220



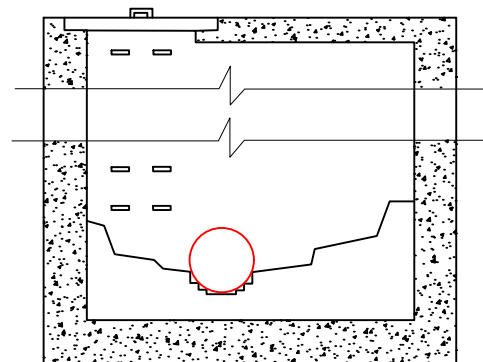
POTONGAN B - B



POTONGAN C - C



POTONGAN D - D



POTONGAN E - E



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Tipikal Syphon

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

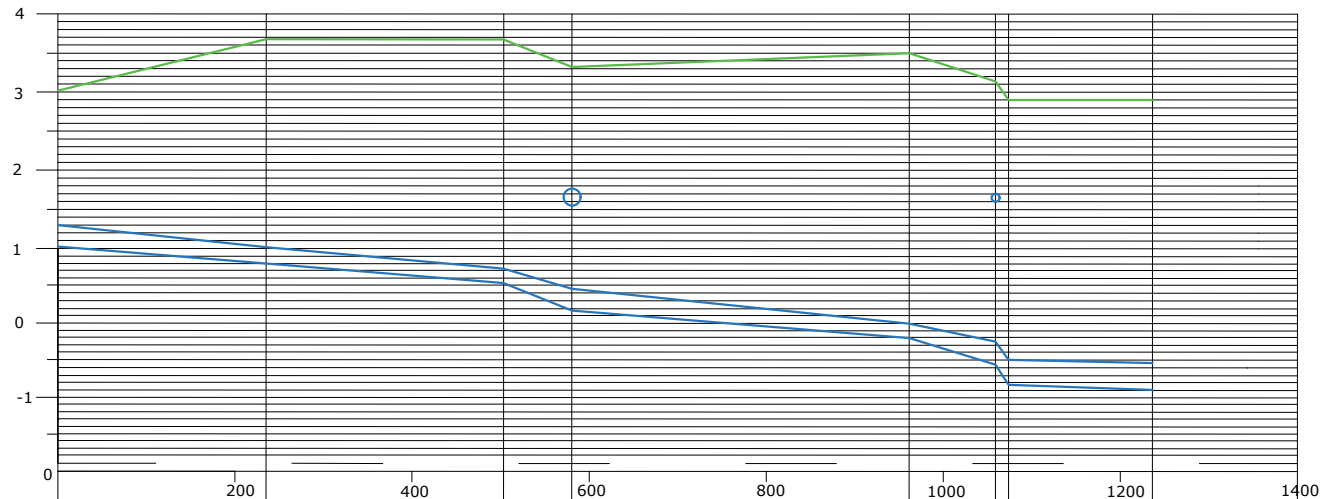
SKALA

Tanpa Skala

NO. GAMBAR

SPAL22
221

Jalur AP5 - IPAL



JALUR	AP5	AP6	AP7	AP8	AP9	IP	IPAL
Panjang Pipa (m)	235,17	268,31	77,21	381,25	97,44	162,69	
Elevasi Muka Tanah (m)	3.02	3.68	3.68	3.32	3.5	3.15	2.9
Elevasi Atas Pipa (m)	1.29	1.05	0.73	0.46	0.02	-0.24	-0.53
Elevasi Bawah Pipa (m)	1.03	0.8	0.53	0.17	-0.21	-0.56	-0.89
Diameter (mm)	280	280	225	315	250	355	355



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis Jalur Pipa AP5 - IPAL

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

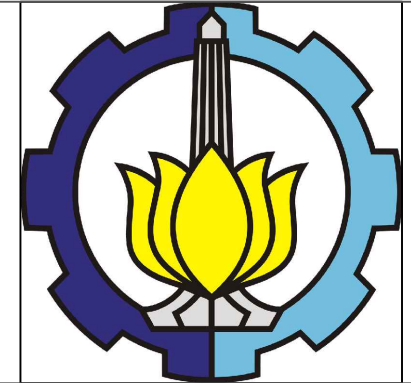
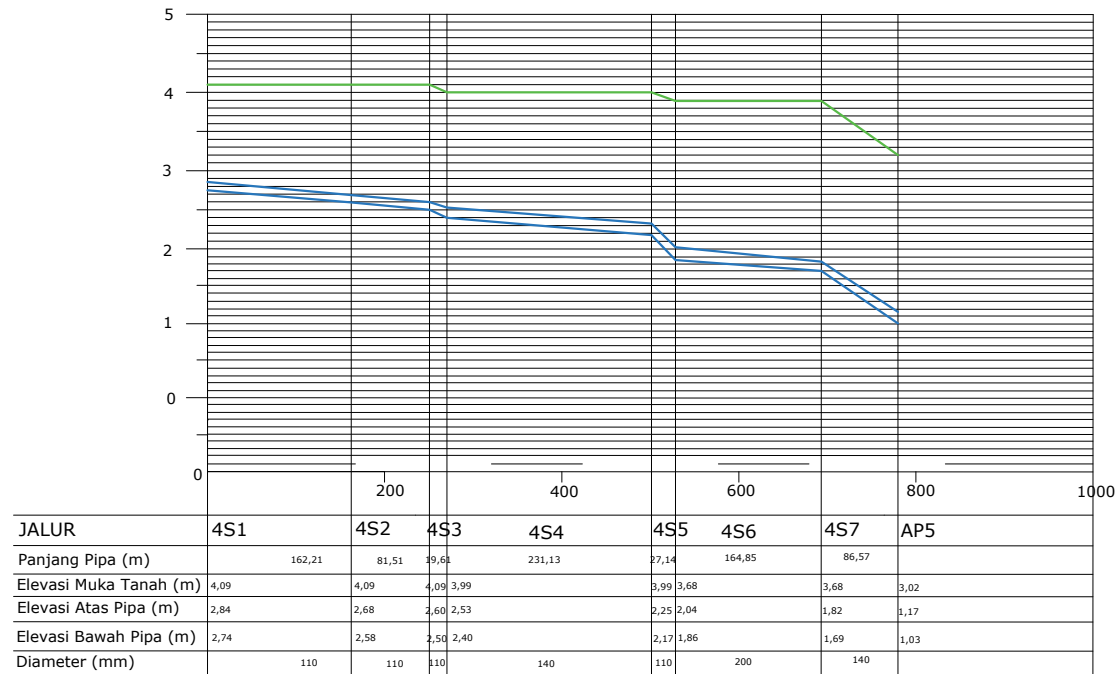
SKALA

Tanpa Skala

NO. GAMBAR

SPAL23
222

Jalur 4S1 - AP5



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis Jalur Pipa 4S1 - AP5

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

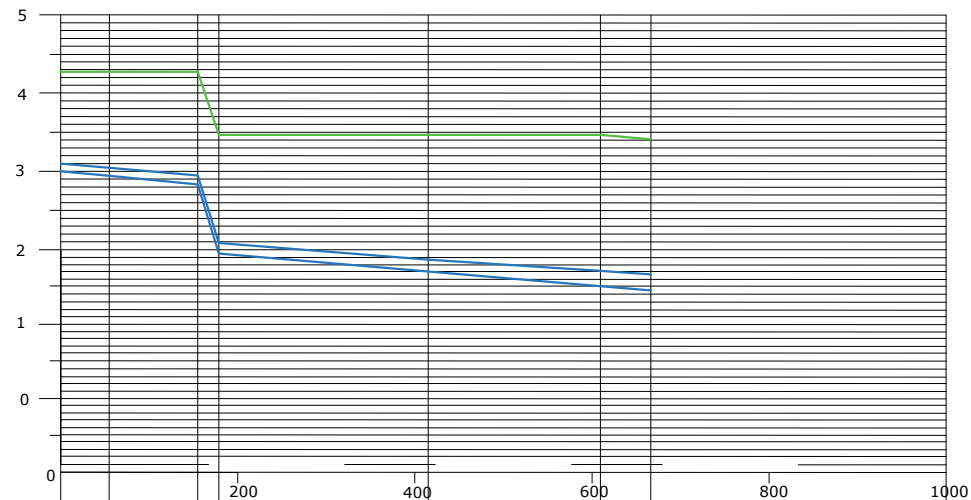
SKALA

Tanpa Skala

NO. GAMBAR

SPAL24
 223

Jalur 3S1 - AP8



JALUR	3S1	3S2	3S3	3S4	3S5	3S6	AP8
Panjang Pipa (m)	54,73	100	24,08	236,58	194,43	56,87	
Elevasi Muka Tanah (m)	4,27	4,27	4,27	3,37	3,37	3,32	
Elevasi Atas Pipa (m)	3,09	3,04	2,94	1,88	1,71	1,67	
Elevasi Bawah Pipa (m)	2,99	2,94	2,84	1,70	1,51	1,45	
Diameter (mm)	110	110	110	160	200	225	



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis Jalur Pipa 3S1 - AP8

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

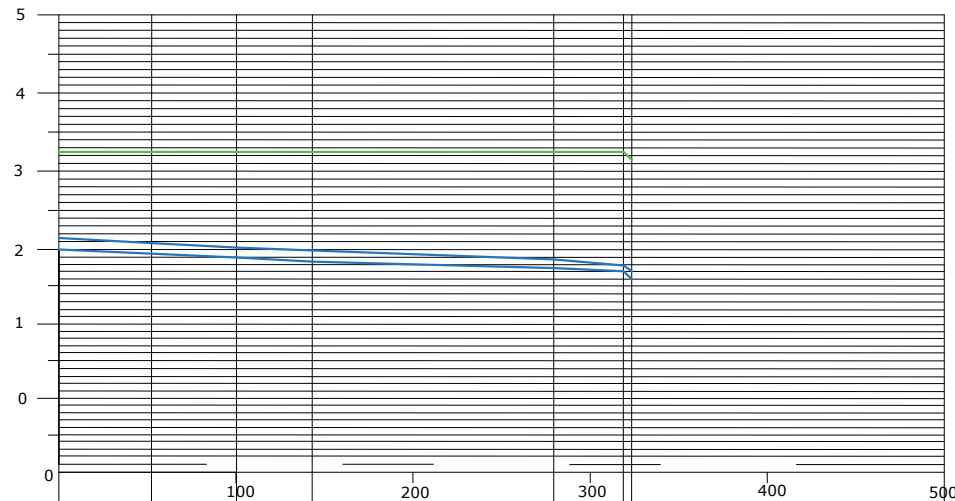
SKALA

Tanpa Skala

NO. GAMBAR

SPAL25
224

Jalur 2S1 - AP10



JALUR	2S1	2S1	2S1	2S1	2S1	2S1	2S1
Panjang Pipa (m)	52,29	48,08	42,77	136,43	39,38	4,57	
Elevasi Muka Tanah (m)	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,15
Elevasi Atas Pipa (m)	2,13	2,08	2,03	1,99	1,87	1,79	1,70
Elevasi Bawah Pipa (m)	2,01	1,95	1,90	1,86	1,73	1,69	1,59
Diameter (mm)	140	140	140	140	160	130	



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis Jalur Pipa 3S1 - AP10

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

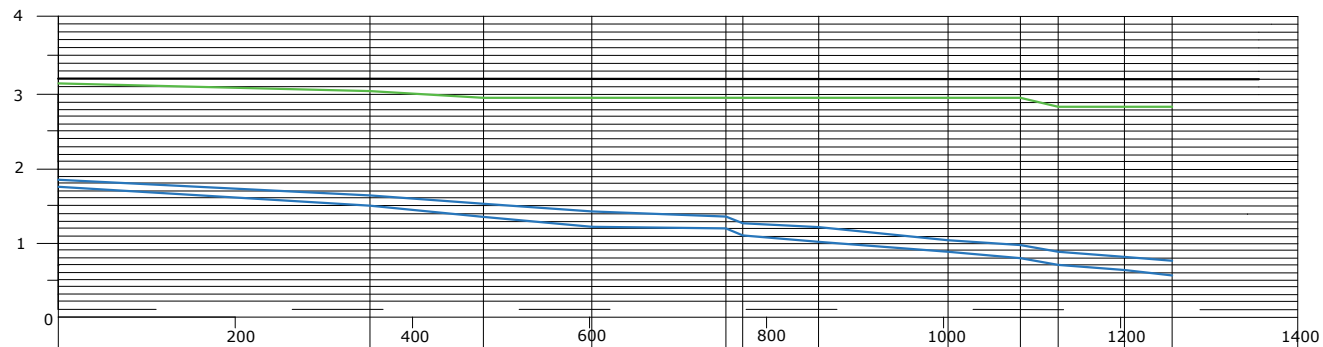
SKALA

Tanpa Skala

NO. GAMBAR

SPAL26
225

Jalur 1S1 - BP1



JALUR	AP5												
Panjang Pipa (m)	352,15	128,16	122,58	151,58	19,04	85,72	146,19	81,83	42,74	74,76	53,94		
Elevasi Muka Tanah (m)	3,12	3,07	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,85	2,85	2,85	
Elevasi Atas Pipa (m)	1,85	1,53	1,42	1,33	1,18	1,09	1,01	0,86	0,78	0,69	0,61	0,57	
Elevasi Bawah Pipa (m)	1,75	1,40	1,27	1,15	1,00	0,91	0,82	0,68	0,59	0,50	0,43	0,37	
Diameter (mm)	110	140	160	200	200	200	200	200	200	200	200		



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis Jalur Pipa 1S1 - BP10

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

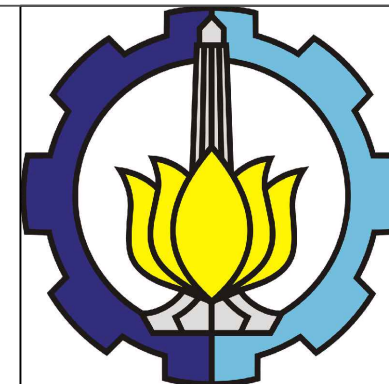
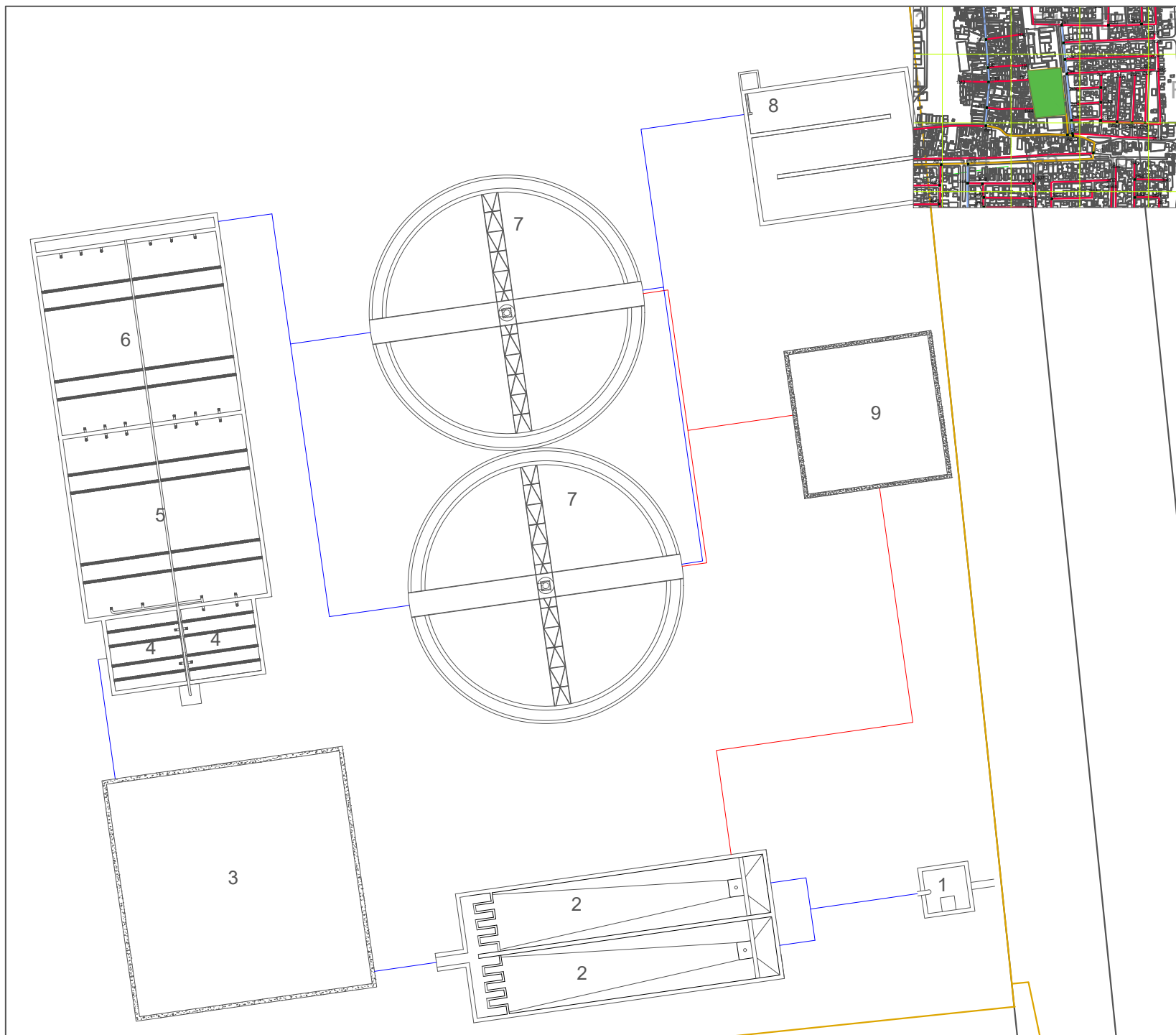
LEGENDA

SKALA

Tanpa Skala

NO. GAMBAR

SPAL27
226



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Layout IPAL

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

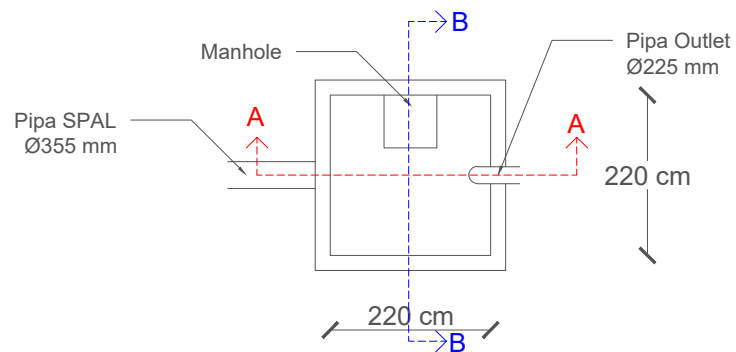
1 : Sumur Pengumpul
 2 : Bak Pengendap 1
 3 : Bak Ekualisasi
 4 : MBBR BOD
 5 : MBBR prenitrifikasi
 6 : MBBR Nitrifikasi
 7 : Secondary Clarifier
 8 : Bak Kontak Klorinasi
 9 : Sludge holding tank
 — : Air Limbah
 — : Air Terolah
 — : Lumpur
 — : Lokasi IPAL

SKALA

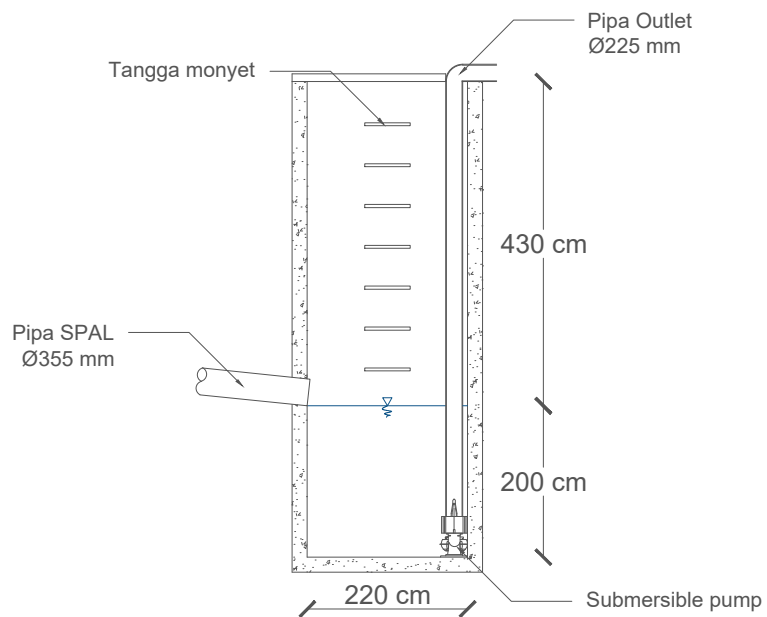
1 : 250

NO. GAMBAR

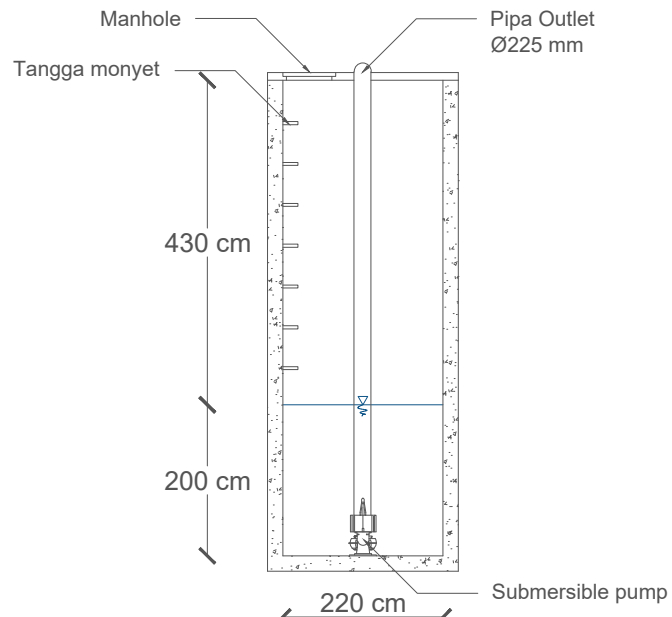
IPAL01
 227



Denah Sumur Pengumpul



Potongan A - A Sumur Pengumpul



Potongan B - B Sumur Pengumpul



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Denah dan Potongan Sumur
Pengumpul

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

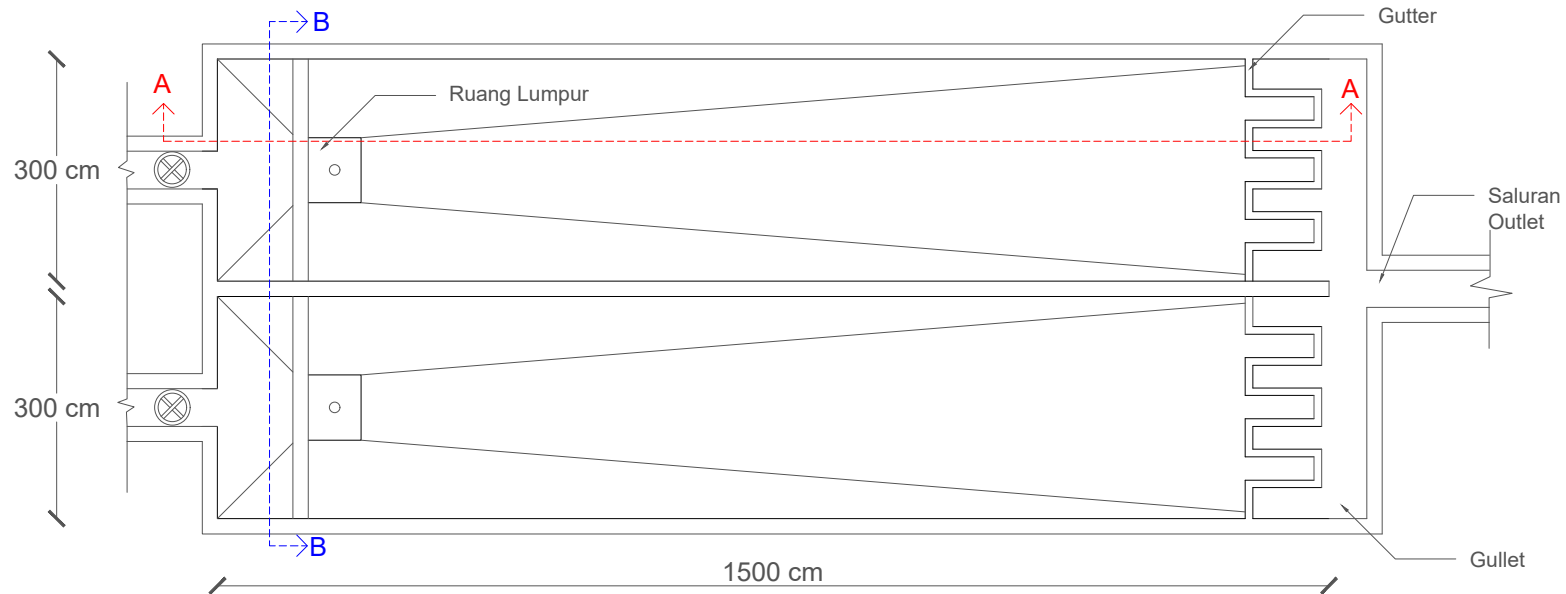
LEGENDA

SKALA

1 : 100

NO. GAMBAR

IPAL02
228



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Denah Bak Pengendap 1

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

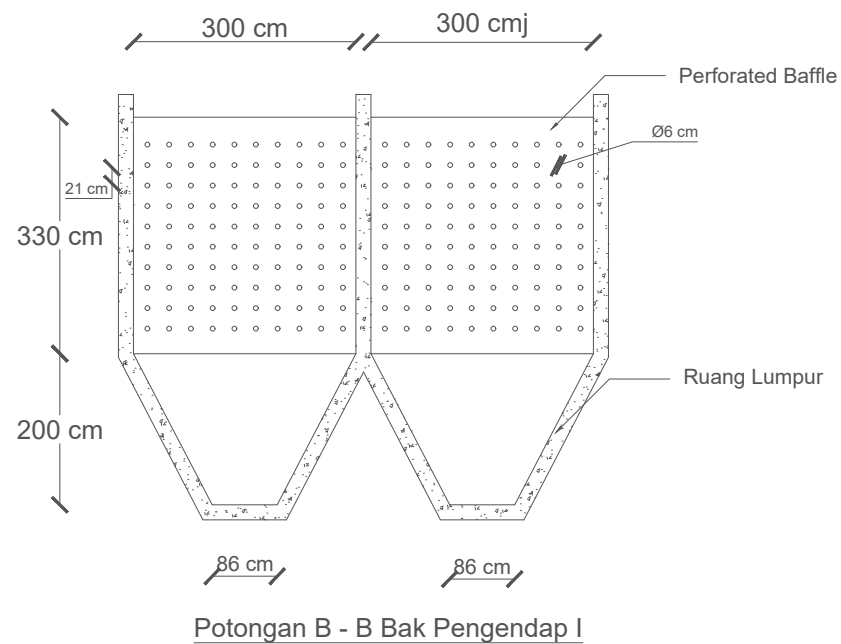
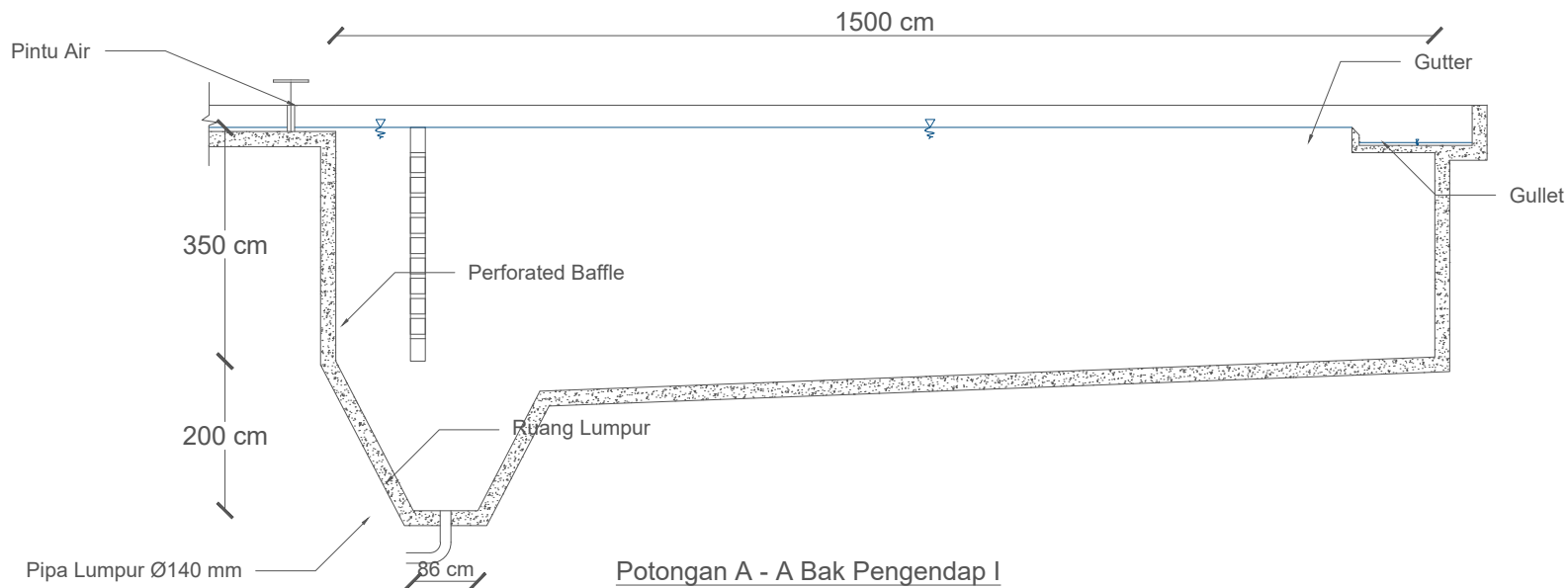
LEGENDA

SKALA

1 : 100

NO. GAMBAR

IPAL03
 229



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Potongan A - A & Potongan B - B
Bak Pengendap 1

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

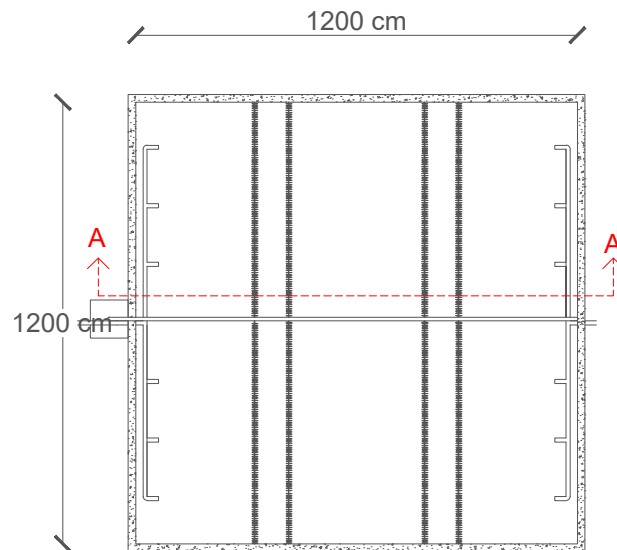
LEGENDA

SKALA

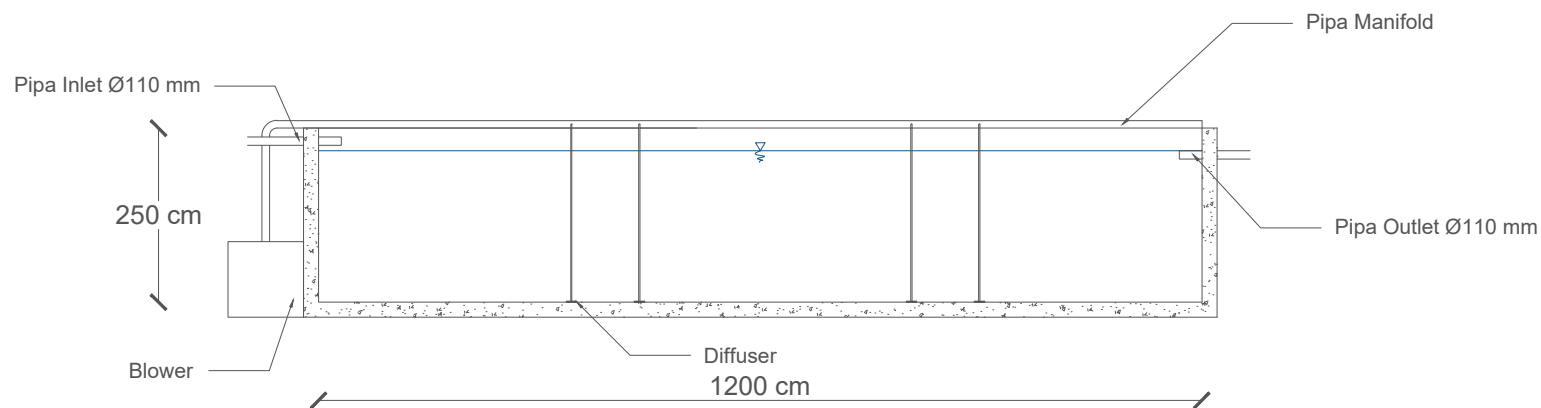
1 : 100

NO. GAMBAR

IPAL04
230



Denah Bak Ekualisasi
Skala 1: 200



Potongan A - A Bak Ekualisasi
Skala 1: 100



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Denah & Potongan A - A
Bak Ekualisasi

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

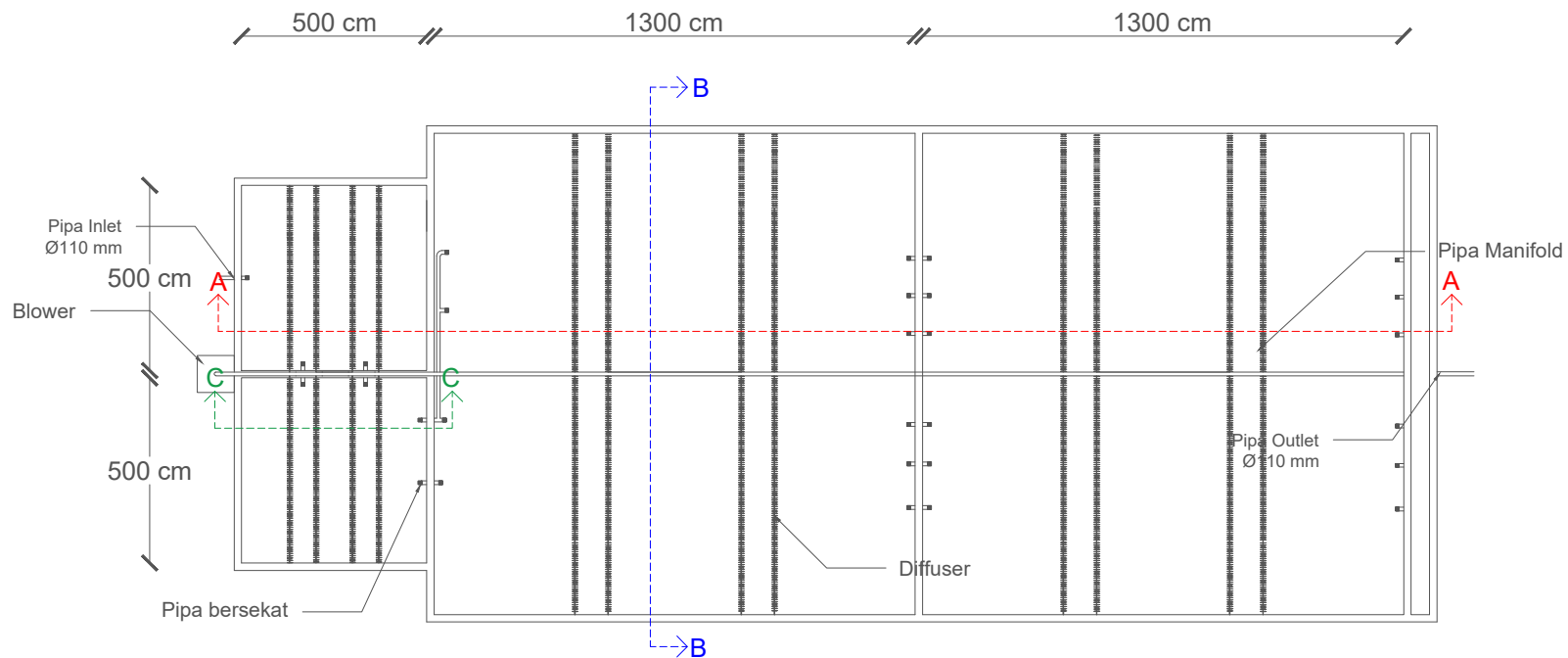
LEGENDA

SKALA

Bervariasi

NO. GAMBAR

IPAL05
231



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
 KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
 KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Denah Moving Bed Biofilm Reactor
 (Tanpa Biomedia)

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
 NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
 NIP 19590811 198701 1 001

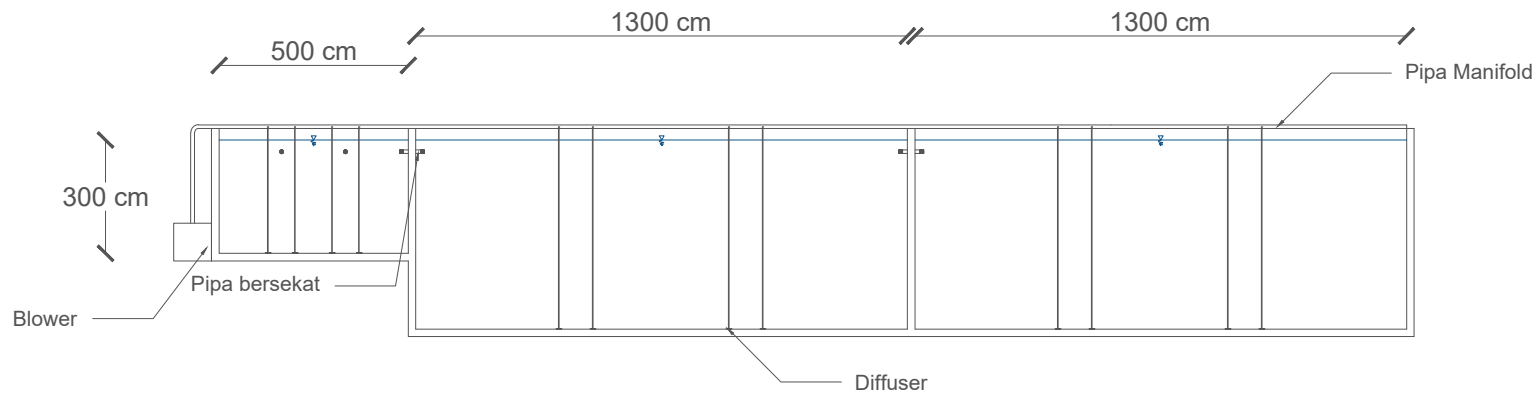
LEGENDA

SKALA

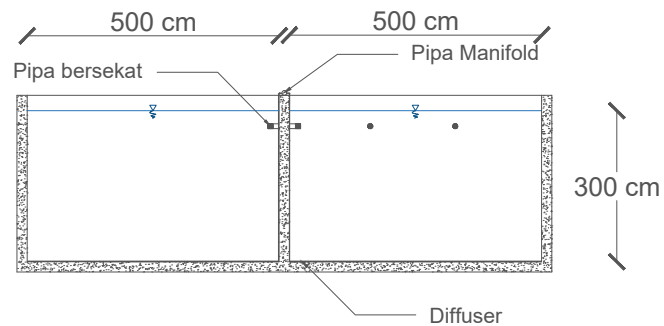
1 : 200

NO. GAMBAR

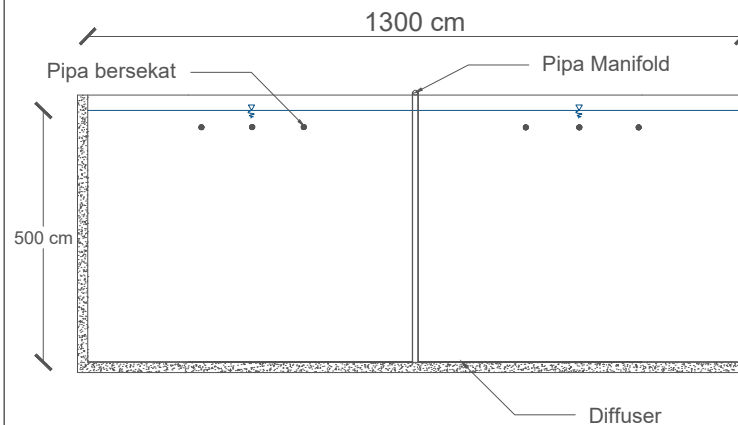
IPAL06
 232



Potongan A - A MBBR
Skala 1 : 200



Potongan C - C MBBR
Skala 1 : 150



Potongan B - B MBBR
Skala 1 : 150



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Potongan A - A, B - B, dan C - C
Moving Bed Biofilm Reactor

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

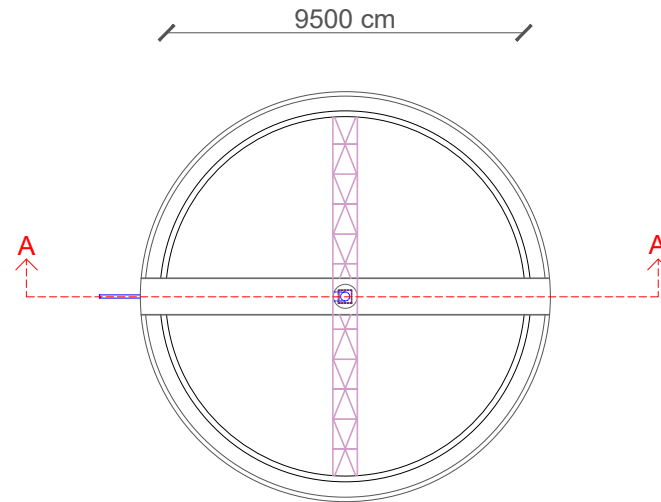
LEGENDA

SKALA

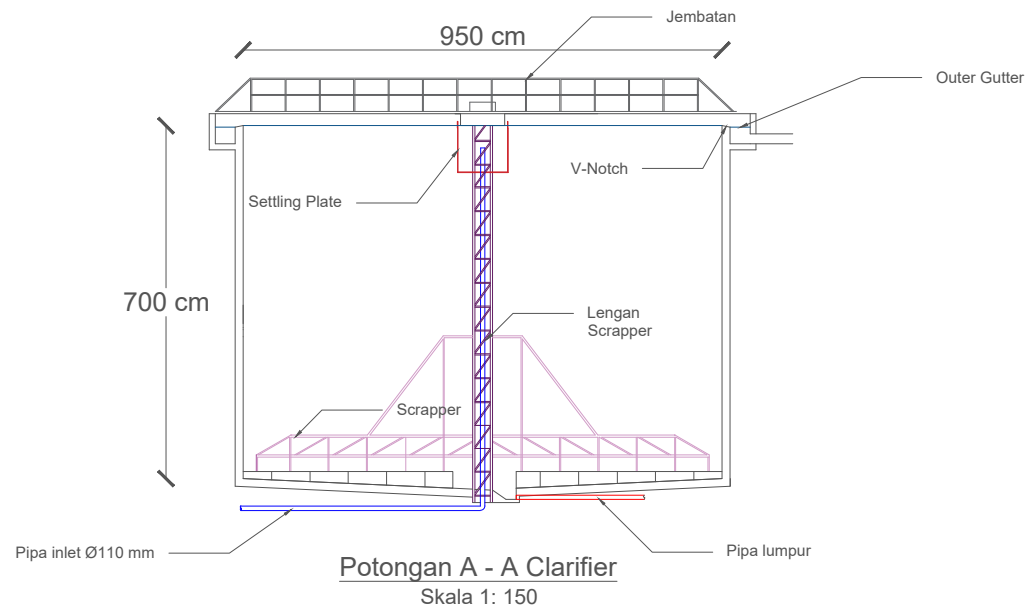
Bervariasi

NO. GAMBAR

IPAL07
233



Denah Clarifier
Skala 1: 200



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Denah dan Potongan A - A
Clarifier

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

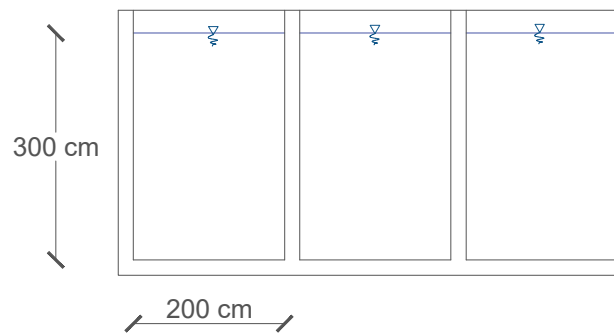
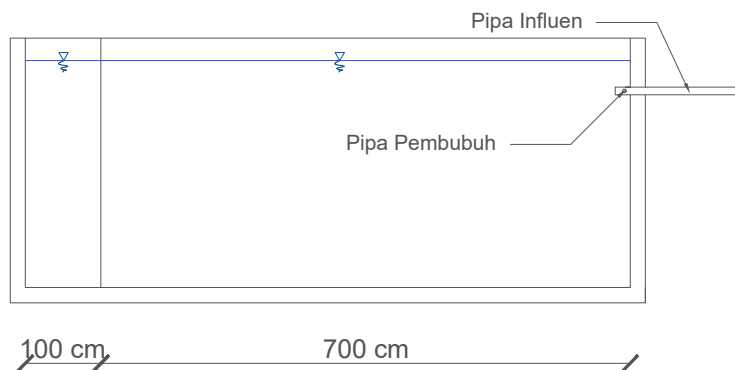
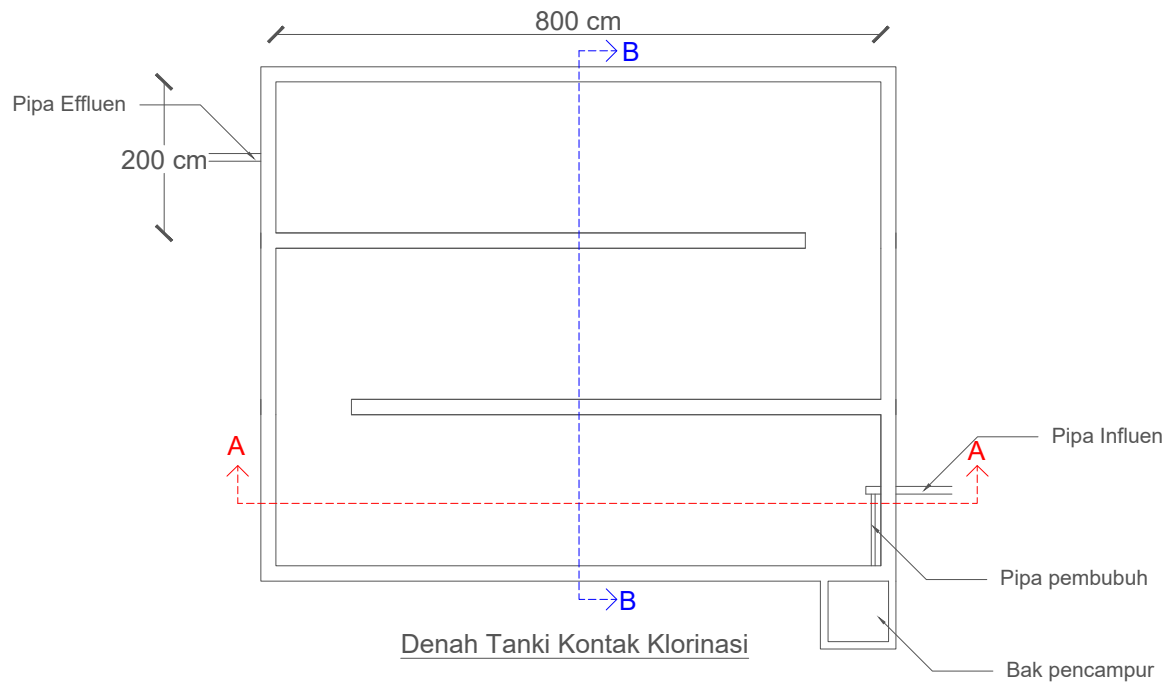
LEGENDA

SKALA

Bervariasi

NO. GAMBAR

IPAL08
234



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Tanki Kontak Klorinasi

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

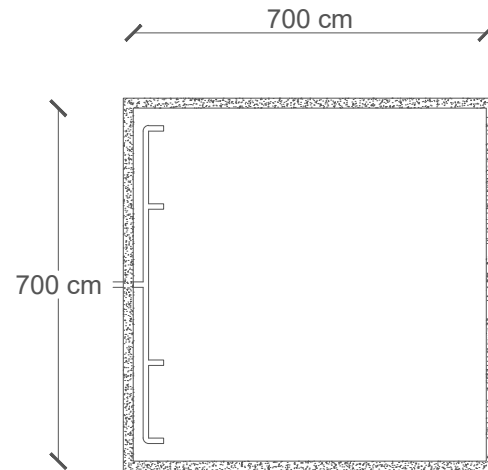
LEGENDA

SKALA

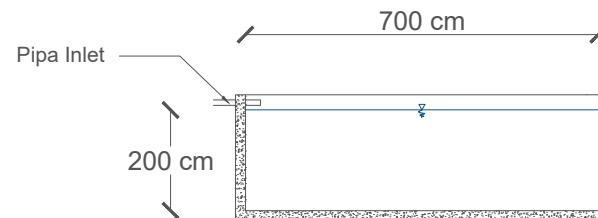
1 : 100

NO. GAMBAR

IPAL09
235



DENAH SLUDGE HOLDING TANK



POTONGAN A-A SLUDGE HOLDING TANK



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

JUDUL TUGAS

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK
KELURAHAN KALI RUNGKUT DAN KEDUNGBARUK
KECAMATAN RUNGKUT KOTA SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Sludge Holding Tank

DRAFTER

FADEL MUHAMMAD
NRP 03211440000108

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
NIP 19590811 198701 1 001

LEGENDA

SKALA

1 : 150

NO. GAMBAR

IPAL10
236

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di kota Bandung, 10 Oktober 1996. Penulis merupakan anak sulung di keluarga. Ayah bernama Rahmat dan Ibu bernama Lola Yosefa. Pernah menempuh pendidikan sekolah dasar (SD) di SD Muhammadiyah 1 Medan, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Medan, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Medan. Kemudian pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan (FTSLK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai pengurus beberapa organisasi seperti Environmental Engineering English Club (EEEC) HMTL ITS selama dua periode kepengurusan, beserta staff departemen kominfo Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) selama dua periode kepengurusan. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan kepanitiaan, baik dari tingkat jurusan, fakultas, institut, hingga nasional. Salah satu kepanitiaan beserta jabatan yang diamanahkan yaitu sebagai Koordinator Motion Picture (MP) ITS EXPO 2016. Prestasi yang pernah diraih penulis saat masa perkuliahan yaitu juara satu lomba VIDEOSCOPE Communication Student Summit Universitas Airlangga pada tahun 2015. Penulis telah melakukan kerja praktik di Pertamina EP 1 Jambi Field selama satu bulan di tahun 2017. Penulis dapat dihubungi melalui: ffadelmuhammad@gmail.com.